ТОМ 2, №3, 2023 eISSN 2949-1835

РЕЦЕНЗИРУЕМЫЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий

Строительные конструкции, здания и сооружения

Основания и фундаменты, подземные сооружения

Строительные материалы и изделия

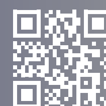
Технология и организация строительства

Строительная механика

Градостроительство, планировка сельских населенных пунктов

Управление жизненным циклом объектов строительства





www.stsg-donstu.ru
DOI 10.23947/2949-1835



Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий

Рецензируемый научно-практический журнал (издается с 2022 года)

eISSN 2949-1835
DOI: 10.23947/2949-1835

Том 2, № 3, 2023

Журнал создан в целях информирования читательской аудитории о новейших достижениях, тенденциях и перспективах в области строительства, архитектуры, градостроительства и смежных научных направлений. Издание является платформой для научно-образовательного сотрудничества российских и иностранных исследователей, вовлеченных в строительную сферу.

В журнале публикуются научные статьи по следующим специальностям:

– Строительные конструкции, здания и сооружения;
– Основания и фундаменты, подземные сооружения;
– Строительные материалы и изделия;
– Технология и организация строительства;
– Строительная механика;
– Градостроительство, планировка сельских населенных пунктов;
– Управление жизненным циклом объектов строительства.

Индексация:	РИНЦ, CyberLeninka, CrossRef
Наименование органа, зарегистрировавшего издание	*Свидетельство о регистрации средства массовой информации ЭЛ № ФС 77 – 83923 от 16 сентября 2022 г., выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций*
Учредитель и издатель	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный технический университет» (ДГТУ)
Периодичность	4 выпуска в год
Адрес учредителя и издателя	344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1
E-mail	sovtrendstr@gmail.com
Телефон	+7 (863) 2–738–372
Сайт	http://www.stsg-donstu.ru/
Дата выхода в свет	30.09.2023





Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning

Pee-reviewed scientific and practical journal (published since 2022)

eISSN 2949-1835
DOI: 10.23947/2949-1835

Vol. 2, no. 3, 2023

A peer-reviewed scientific and practical journal designed to inform the readers about the latest advancements? Trends and prospects in the field of construction, architecture, urban and adjacent scientific fields. The journal serves a platform for scientific and educational of researchers and scholars engaged in field of construction.

The journal publishes articles covering the results of the cutting-edge research in the following areas:

- Building constructions, buildings and engineering structures,
- Bases and foundations, subsurface structures,
- Construction materials and products,
- Technology and organization of construction,
- Structural mechanics,
- Urban planning, rural settlements planning,
- Facilities life cycle management.

Indexing:	RSCI, CyberLeninka, CrossRef
Name of the body that registered the publication	Mass media registration certificate ЭЛ № ФС 77 – 83923 dated September 16, 2022, issued by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Media
Founder and publisher	Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Don State Technical University (DSTU)
Periodicity	4 issues per year
Address of the founder and publisher	1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation
E-mail	sovtrendstr@gmail.com
Telephone	+7 (863) 2–738–372
Website	http://www.stsg-donstu.ru/
Date of publication	30.09.2023

СОДЕРЖАНИЕ





УДК 658.254
https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-3-6-16

Научная статья



Оценка экологической эффективности систем газоснабжения на основе анализа их жизненного цикла

В.И. Беспалов ✉, **О.С. Гурова**

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

✉ izos-rgsu@mail.ru

Аннотация

Введение. При выборе оптимальной технологии систем жизнеобеспечения населенных мест наиболее перспективным является метод оценки эколого-экономической эффективности каждого вида этих систем, при реализации которого в качестве начального этапа принято считать анализ оценки их жизненного цикла.

В качестве научной проблемы авторами выделена необходимость оценки жизненного цикла системы газоснабжения, обеспечивающей организованные подачу и распределение потребителям газового топлива.

Целью исследования являлся поиск оптимального сочетания экологического и экономического факторов для вариантов газорегуляторного пункта методом анализа жизненного цикла с последующей оценкой эколого-экономической эффективности при организации и эксплуатации систем газоснабжения.

Материалы и методы. В основу исследований авторами положен метод анализа жизненного цикла объекта с учетом системы управления качеством, методов теории выбора и оценки эколого-экономической эффективности различных объектов.

Результаты исследования. В результате исследований установлено:

– газорегуляторный пункт представляет особый интерес с точки зрения выбора оптимальной технологии организованной подачи и распределения потребителям газового топлива;

– для газорегуляторных пунктов наиболее применим метод анализа жизненного цикла и оценки эколого-экономической эффективности;

– жизненный цикл газорегуляторного пункта включает 11 этапов, среди которых в качестве основного авторами выделен этап эксплуатации;

– для выбранных вариантов компоновки газорегуляторного пункта выполнена оценка эколого-экономической эффективности.

Обсуждение и заключение. Анализ жизненного цикла газорегуляторных пунктов систем газоснабжения позволил выделить этап эксплуатации как наиболее значимый. По каждому из двух выбранных авторами вариантов таких пунктов выполнена оценка эколого-экономической эффективности. В результате расчетов установлено, что наибольшей эколого-экономической эффективностью из рассматриваемых вариантов обладает газорегуляторный пункт с детандер-генераторным агрегатом, компоновка которого в перспективе может найти широкое практическое применение.

Ключевые слова: системы газоснабжения, газорегуляторный пункт, экологический фактор, экономический фактор, жизненный цикл, этапы жизненного цикла

Для цитирования. Беспалов В.И., Гурова О.С. Оценка экологической эффективности систем газоснабжения на основе анализа их жизненного цикла. *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий.* 2023;2(3):6–16. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-3-6-16

Original article

Environmental Efficiency Assessment of Gas Supply Systems Based on Their Life Cycle Analysis

Vadim I. Bespalov ✉, **Oksana S. Gurova**

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

✉ izos-rgsu@mail.ru

Abstract

Introduction. The most forward-looking method of choosing the optimal technology of the populated areas' life support systems is the environmental and economic efficiency assessment of each type of such systems, wherein their life cycle

assessment analysis is considered to be the primal stage. The scientific problem distinguished by the authors is the need to assess a life cycle of a gas supply system, which provides the organised supply and distribution of gas fuel to consumers. The study aims at finding the optimal combination of the environmental and economic factors for the gas control station variants by means of the life cycle analysis method followed by the environmental and economic efficiency assessment of the gas supply systems' management and operation.

Materials and Methods. The authors' research was based on the object's life cycle analysis method compliant with the quality management system, methods of selection theory and environmental and economic efficiency assessment of various objects.

Results. As a result of the research, it was determined that:

– a gas control station is of particular interest in terms of choosing the optimal technology of the organised supply and distribution of gas fuel to consumers;

– for gas control stations, the life cycle analysis and environmental and economic efficiency assessment method is the most appropriate one;

– a gas control station life cycle includes 11 stages, among which the operational stage is identified by the authors as the main one;

– for the selected variants of a gas control station layout, the environmental and economic efficiency assessment is made.

Discussion and Conclusions. The life cycle analysis of the gas control stations of the gas supply systems made it possible to distinguish the operational stage as the most significant one. For each of the two variants of such stations selected by the authors, the environmental and economic efficiency assessment was carried out. Upon calculation results, it was discovered that among the variants under consideration, a gas control station with an expander-generator unit has the highest environmental and economic efficiency and its layout could be widely implemented in future.

Keywords: gas supply systems, gas control station, environmental factor, economic factor, life cycle, life cycle stages

For citation. Bespalov VI, Gurova OS. Environmental Efficiency Assessment of Gas Supply Systems Based on Their Life Cycle Analysis. *Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning*. 2023;2(3):6–16. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-3-6-16

Введение. Основными элементами в структуре городской среды являются системы жизнеобеспечения, функционирование которых направлено на обеспечение и поддержание комфортных условий жизнедеятельности. К системам жизнеобеспечения населенных мест относят: системы теплоснабжения, системы вентиляции и кондиционирования воздуха, системы электроснабжения, системы водоснабжения и водоотведения, системы газоснабжения, системы связи и системы транспорта [1–3].

Любая из перечисленных систем жизнеобеспечения включает три подсистемы (рис. 1):

– технологическую подсистему, которая обеспечивает производство (приготовление и подготовку по параметрам) соответствующего агента (продукта, теплоносителя, энергоносителя и т. п.), обеспечивающего требуемые характеристики благоприятной (комфортной) жизнедеятельности населения;

– транспортно-коммуникационную подсистему, которая создает условия для качественной поставки (доставки) потребителям произведенного (приготовленного и подготовленного по параметрам) соответствующего агента (продукта, теплоносителя, энергоносителя и т. п.), обеспечивающего требуемые характеристики благоприятной (комфортной) жизнедеятельности населения;

– инженерно-экологическую подсистему, которая обеспечивает предотвращение негативного воздействия на окружающую среду соответствующих факторов в процессе функционирования (эксплуатации технологической и транспортно-коммуникационной подсистем в системах жизнеобеспечения).

На основе рис. 1 более подробно рассмотрим структуру и основные технологические и экологические характеристики каждой из наиболее значимых энерго- и ресурсоснабжающих систем жизнеобеспечения населенных мест. К таким системам, на наш взгляд, следует отнести системы газоснабжения, теплоснабжения и водоснабжения.

Система газоснабжения предназначена для обеспечения организованной подачи и распределения потребителям газового топлива в виде горючих газов (природных горючих, сжиженных и искусственных). Структурно система газоснабжения может быть представлена следующим образом:

– в качестве технологической подсистемы в систему газоснабжения природным горючим газом входят: газодобывающий комплекс, газоперекачивающие компрессорные станции, газораспределительные станции, газорегуляторные пункты, устройства учета газа;

– к транспортной подсистеме относятся сети трубопроводов (газопроводов), компенсаторы, запорно-регулирующая арматура, опорные конструкции, дюкеры, виадуки и т. п.;

– к инженерно-экологической подсистеме относятся катодная защита газопроводов, устройства очистки природного газа от газообразных и твердых примесей, устройства утилизации или вторичного использования тяжелых углеводородов, продувочные свечи, устройства защиты от шума и вибрации и т. п.

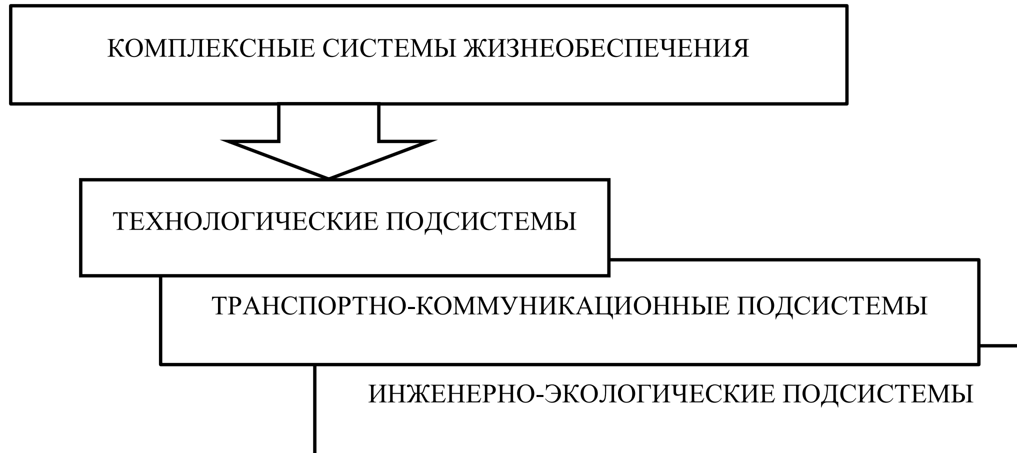


Рис. 1. Структурная схема систем жизнеобеспечения населенных мест

Технологические особенности системы газоснабжения заключаются в том, что она автоматически должна поддерживать требуемые потребителями значения расхода газа с определенным давлением в каждой точке системы, что обеспечивает оптимальную работу газовых приборов, безопасность и комфортные условия жизнедеятельности.

Экологические характеристики системы газоснабжения непосредственно связаны с воздействием различных структурных элементов технологической подсистемы соответственно на атмосферу, водные и земельные ресурсы на территории размещения системы газоснабжения [4].

Система теплоснабжения предназначена для обеспечения потребителей необходимым количеством теплоты требуемых параметров. Структурно система теплоснабжения может быть представлена следующим образом:

– в качестве технологической подсистемы в систему теплоснабжения входят: теплогенерирующая установка (котельная, тепловая станция) с комплексом водоподготовки и насосных установок для собственных нужд, устройство учета тепла;

– к транспортной подсистеме относятся тепловые сети (трубопроводы), насосные сетевые установки, компенсаторы, запорно-регулирующая арматура, опорные конструкции и т. п.;

– к инженерно-экологической подсистеме относятся тепловая защита (теплоизоляция), дымовая труба, устройства очистки дымовых газов от газообразных и твердых примесей, устройства очистки сточных вод, устройства защиты от шума и вибрации, комплексы утилизации отходов и т. п.

Технологические особенности системы теплоснабжения заключаются в том, что она автоматически должна поддерживать требуемые потребителями значения расхода теплоносителя с определенными значениями давления и температуры в каждой точке системы, что обеспечивает оптимальную работу теплопотребляющих приборов, безопасность и комфортные параметры микроклимата.

При этом экологические характеристики системы теплоснабжения связаны с выбросами в атмосферу загрязняющих веществ (продуктов полного и неполного сгорания органических видов топлива), излучением физических полей, прежде всего, теплового, а также загрязнением водных ресурсов сбросами сточных вод. Кроме того, при сжигании твердого топлива образуются золошлаковые отходы, для размещения которых требуется отчуждение значительного количества земель.

Система водоснабжения предназначена для обеспечения потребителей необходимым количеством воды для питьевых, производственных и противопожарных нужд, мойки улиц, а также полива зеленых насаждений и для иных целей. Структурно система водоснабжения может быть представлена следующим образом:

– в качестве технологической подсистемы в систему водоснабжения входят: водозаборное устройство, установка водоподготовки (установки обеззараживания и осветления воды, установки очистки от твердых примесей), насосные установки для собственных нужд, водомерный узел;

– к транспортной подсистеме относятся водопроводные сети (трубопроводы), насосные сетевые установки, компенсаторы, запорно-регулирующая арматура, опорные конструкции и т. п.;

– к инженерно-экологической подсистеме относятся устройства защиты от шума и вибрации, устройства очистки воды, комплексы утилизации отходов и т. п.

Технологические особенности системы водоснабжения заключаются в том, что она автоматически должна поддерживать требуемые потребителями значения расхода воды с определенными значениями давления в каждой точке системы, что обеспечивает оптимальную работу водоразборных установок и приборов, безопасность и комфортные условия жизнедеятельности.

При этом экологические характеристики системы водоснабжения связаны с выбросами в атмосферу загрязняющих веществ (продуктов обеззараживания, обезвреживания, аэрации), а также загрязнением водных ресурсов сбросами сточных вод.

Можно заключить, что системы жизнеобеспечения на одном из основных этапов своего жизненного цикла (при эксплуатации) наряду с полезным технологическим эффектом оказывают неблагоприятное экологическое воздействие на окружающую среду и на здоровье населения [5]. Именно в этом заключается основная отличительная особенность представленных на рис. 1 систем, которая состоит в том, что, с одной стороны, без них не возможна комфортная жизнедеятельность людей на территории населенных мест и их необходимо размещать как можно ближе к потребителям с целью оптимизации управления системами и минимизации различных видов потерь (материальных, энергетических и прочих), а с другой стороны, они в наибольшей степени негативно влияют на экологическое состояние территории, что требует как можно более удаленного их размещения относительно потребителей. Это представляет собой экологический парадокс, возникающий при эксплуатации систем жизнеобеспечения населенных мест.

Для разрешения этого парадокса необходимо намечать комплекс мероприятий, обладающих требуемыми значениями экологической эффективности, запроектировать и реализовать которые возможно лишь на основе анализа жизненного цикла любой из систем жизнеобеспечения с выделением соответствующих каждому этапу жизненного цикла негативно воздействующих факторов (рис. 2) [6, 7].

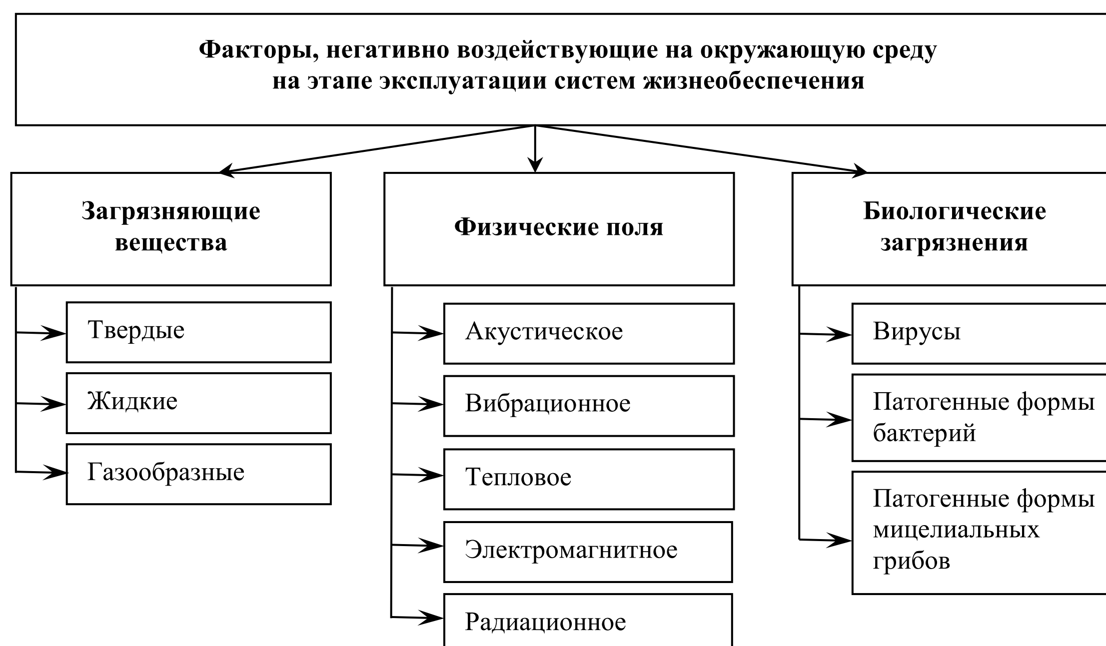


Рис. 2. Классификация факторов, проявляющихся в жизненном цикле систем жизнеобеспечения, негативно воздействующих на окружающую среду

К 1-й группе (материальные факторы) относят загрязняющие вещества, которые в зависимости от агрегатного состояния могут быть твердыми, жидкими и газообразными.

Ко 2-й группе (физические факторы) относят физические поля, которые в зависимости от физической природы могут проявляться в виде:

– акустического (звукового) поля, являющегося следствием воздействия различных источников звуковых волн;

– вибрационного поля, являющегося следствием воздействия различных источников упругих механических колебаний;

– теплового поля, возникающего в результате повышения температуры окружающей среды, в первую очередь, атмосферы;

– электромагнитного поля, являющегося следствием воздействия различных источников электромагнитных волн;

– радиационного поля, являющегося следствием воздействия различных источников радиоактивного излучения.

3-я группа (биологические факторы) — биологические загрязнения, к которым относятся различные микроорганизмы (вирусы и бактерии), ухудшающие состояние экосистем и негативно влияющие на человека, животных и растения.

Перечисленные факторы не только отрицательно воздействуют на население, но также ухудшают экологическую обстановку на территории населенных мест. Кроме того, под воздействием этих факторов наблюдается интенсивный износ различных объектов городской среды, включая системы жизнеобеспечения, приводя к преждевременному выводу их из строя [8].

Таким образом, главной задачей при организации и эксплуатации систем жизнеобеспечения является поиск для них оптимального сочетания технологической эффективности (максимальной технологической «полезности») и экологической эффективности (минимального негативного воздействия на окружающую среду) [8].

Рассмотрим возможность оценки экологической эффективности систем жизнеобеспечения на основе анализа их жизненного цикла на примере системы газоснабжения, которая, на наш взгляд, представляет собой одну из важнейших и с точки зрения жизнеобеспечивающей значимости, и с точки зрения энергоснабжения.

Материалы и методы. В качестве методической базы нами выбран научный подход, основанный на последовательном формировании базы исходных данных, включая составление перечня экологических параметров, выполнении подготовительных расчетов экономических параметров, анализе жизненного цикла заранее принятых к рассмотрению вариантов исследуемого объекта и выборе такого варианта, который обладает максимальной экологической эффективностью и при этом характеризуется минимальными экономическими затратами.

Прежде всего, необходимо описать основные этапы жизненного цикла исследуемого объекта, в качестве которого нами предложено рассматривать газорегуляторный пункт системы газоснабжения. Для этого пункта выбраны два сравниваемых варианта с различной компоновкой, рассчитанных на одну и ту же производительность природного газа и использующих в качестве регуляторов давления различные устройства:

– вариант 1 представляет собой газорегуляторный пункт с регулятором давления (рис. 3) и включает: регулятор давления газа РДГ-150-Н(В), предохранительный сбросной клапан ПСК-50Н(В), кран шаровой КШ-20, кран шаровой КШ-50, фильтр типа ФГ, выходной манометр, кран шаровой КШ-15, манометр МТ-16, задвижка $Д_у10$, задвижка $Д_у150$;

– вариант 2 представляет собой газорегуляторный пункт с детандер-генераторным агрегатом (рис. 4) и включает: детандер-генераторный агрегат (ДГА), кран шаровой КШ-20, кран шаровой КШ-50, фильтр типа ФГ, выходной манометр, кран шаровой КШ-15, манометр МТ-20, задвижка $Д_у20$, задвижка $Д_у150$.

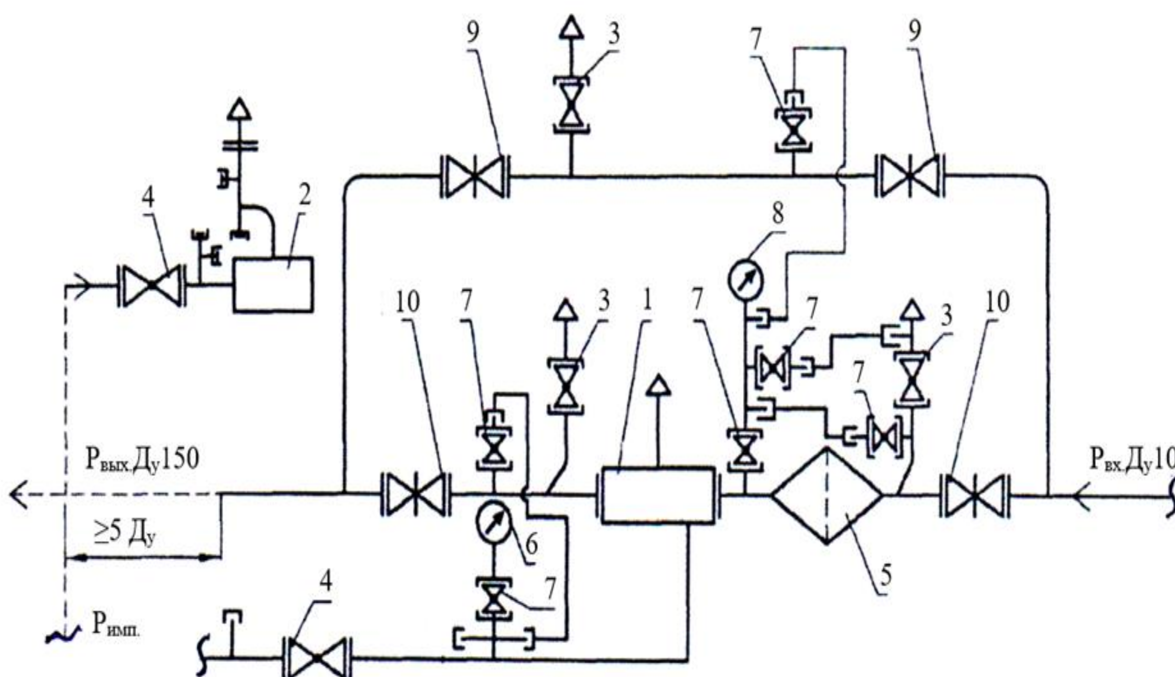


Рис. 3. Схема газорегуляторного пункта с регулятором давления РД-150Н(В)
1 — регулятор давления газа; 2 — предохранительный сбросной клапан; 3, 4 — кран шаровой; 5 — фильтр типа; 6 — выходной манометр; 7 — кран шаровой; 8 — манометр; 9, 10 — задвижки

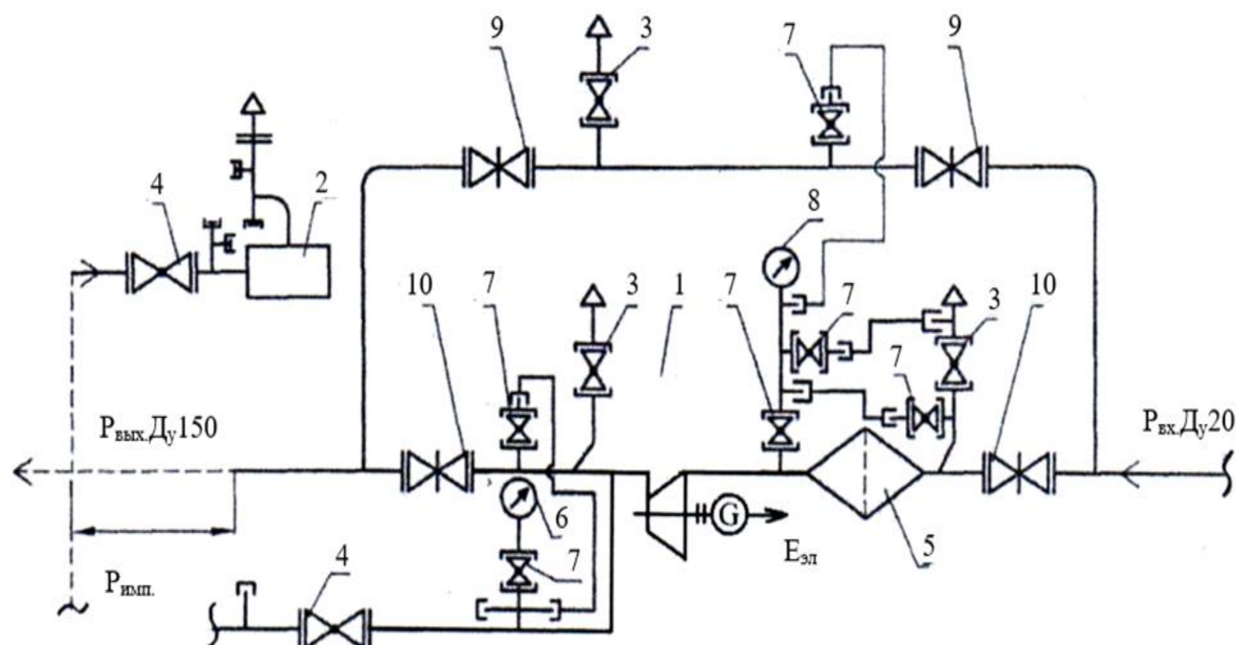


Рис. 4. Схема газорегуляторного пункта с ДГА
1 — детандер-генераторный агрегат; 2 — предохранительный сбросной клапан; 3, 4 — кран шаровой; 5 — фильтр типа; 6 — выходной манометр; 7 — кран шаровой; 8 — манометр; 9, 10 — задвижки

Эти варианты предназначены для обеспечения подачи газа небольшому количеству потребителей путем дросселирования, то есть снижения значения давления газа от среднего до низкого. Их жизненные циклы схожи и включают три основных этапа: производство, эксплуатация и утилизация (рис. 5).



Рис. 5. Этапы жизненного цикла газорегуляторного пункта

Результаты исследования. Оценка экологического фактора определена нами на основе расчета следующих параметров: показателя риска, показателя токсичности, показателя потребления энергии, показателя потребления сырьевых ресурсов, показателя общего негативного воздействия на объекты окружающей среды (атмосфера, водные и земельные ресурсы).

Расчет показателя риска для выбранных вариантов газорегуляторного пункта произведен по общей методике, так как оборудование в каждом из них выполнено из схожих материалов и транспортируется один и тот же вид топлива — природный газ [9]. Каждый отдельный показатель риска оценен нами по пятибалльной шкале (таблица 1).

Таблица 1

Составляющие показателя риска на этапе эксплуатации газорегуляторного пункта

№ п/п	Составляющая показателя риска	Варианты оценки	Оценка	Описание
1	Взрывоопасность топлива	1	4	Взрывоопасность оценивается как высокая, так как газ находится под высоким давлением, что обуславливает более высокий потенциал риска
		2	3	Взрывоопасность оценивается как высокая, так как газ находится под давлением, что обуславливает высокий потенциал риска
2	Ущерб окружающей среде при утечке газа	1	3	При утечке выделяется метан
		2	2	При утечке выделяется метан
3	Причинение вреда здоровью людей в результате производственных нарушений	1	4	Так как взрывоопасность высокая, то риск ущерба здоровью людей оценивается как высокий
		2	3	Высокая взрывоопасность газа
4	Ущерб окружающей среде при производственных нарушениях на газорегуляторном пункте	1	1	Риск причинения ущерба окружающей среде при нарушениях производственного процесса небольшой
		2	2	Риск причинения ущерба окружающей среде при нарушениях производственного процесса небольшой

Суммарный показатель риска для каждого варианта определен путем суммирования баллов по отдельным составляющим показателя риска и составляет: для варианта 1–12 баллов; для варианта 2–10 баллов. Анализ результирующих значений показал, что суммарный показатель риска для варианта 1 больше, чем для варианта 2 на два балла.

В результате приведения суммарных показателей риска каждого варианта к безразмерной величине путем отнесения к максимальному значению баллов получены значения, представленные в таблице 2.

Таблица 2

Безразмерные значения суммарных показателей риска для каждого варианта газорегуляторного пункта

Вариант оценки	Суммарная оценка риска, баллы	$P^{пр}_{max}$, баллы	P
1	12	12	1,00
2	10		0,83

Расчет показателя токсичности произведен методом классификации опасных материалов по предельному значению LD50 дозы-эффекта как основного критерия его оценки [9]. Для рассматриваемых вариантов компоновки газорегуляторных пунктов показатель токсичности рассчитан нами с учетом возможных утечек природного газа в неплотностях соединений и смазки, используемой в конструктивных элементах оборудования газорегуляторного пункта. Суммарный показатель токсичности для каждого варианта рассчитан путем суммирования баллов по отдельным составляющим показателя токсичности и сведен в таблицу 3.

Таблица 3

Суммарная оценка показателя токсичности на этапе эксплуатации газорегуляторного пункта

Вариант оценки	$T^{пт}$ газа, кг/год	$T^{пт}$ смазки, кг/год
1	17,5	0,2
2	12,3	0,2

Результаты приведения суммарных показателей токсичности каждого варианта к безразмерной величине получены путем отнесения к максимальному значению баллов и представлены в таблице 4.

Таблица 4

Безразмерные значения суммарных показателей токсичности для каждого варианта газорегуляторного пункта

Вариант оценки	$T^{пт}$, экв. кг	$T^{пт}_{max}$, экв. кг	T
1	17,5	17,5	1,00
2	12,3		0,70

Расчет показателя потребления энергии выполнен путем суммирования затраченной энергии каждым конструктивным элементом газорегуляторного пункта на этапе эксплуатации его жизненного цикла. Результаты приведения суммарных показателей потребления энергии для каждого варианта к безразмерной величине представлены в таблице 5.

Таблица 5

Безразмерные значения суммарных показателей потребления энергии для каждого варианта газорегуляторного пункта

Вариант оценки	Общее потребление энергии, Вт	Наибольшее значение потребляемой энергии, Вт	E
1	3600	4000	0,90
2	4000		1,00

Для расчета показателя потребления сырьевых ресурсов нами определены перечень и масса сырья, используемого в каждом варианте конструктивного исполнения и компоновки газорегуляторного пункта. При этом учтено, что основным материалом в обоих рассматриваемых вариантах является сталь. Результаты расчета показателя сырьевых ресурсов и приведения его к безразмерной величине приведены в таблице 6.

Таблица 6

Безразмерные значения суммарных показателей потребления сырьевых ресурсов для каждого варианта газорегуляторного пункта

Вариант оценки	Наименование сырья	Расход сырья, т/год	Наибольшее значение расхода сырья, т/год	M
1	Сталь	796,5	978,4	0,81
2		978,4		1,00

Показатель негативного воздействия на климатические процессы в окружающей среде определяется на основе параметра глобального потепления (ПГП) и фотохимического параметра создания озона (ФПСО) (таблица 7) [10].

Таблица 7

Безразмерные значения суммарного показателя негативного воздействия на климатические процессы в окружающей среде для каждого варианта газорегуляторного пункта

Вариант оценки	Наименование параметра						Суммарный показатель негативного воздействия на климатические процессы в окружающей среде
	ПГП			ФПСО			
	суммарная оценка, экв. кг	наибольшее значение, экв. кг	П	суммарная оценка, экв. кг	наибольшее значение, экв. кг	Ф	
1	920	920	1,00	0,280	0,280	1,00	1,00
2	782		0,85	0,238		0,85	0,85

На основе рассчитанных безразмерных показателей (таблицы 1–7) нами определен экологический фактор для рассматриваемых вариантов газорегуляторного пункта (таблица 8).

Таблица 8

Итоговые значения экологического фактора для каждого варианта газорегуляторного пункта

Вариант оценки	Значения экологического фактора
1	1,09
2	0,91

Обсуждение и заключение. На основании анализа полученных результатов (таблица 8) можно заключить, что вариант 1 с экологической точки зрения является менее выгодным.

Оценка экономического фактора определена нами на основе расчета следующих параметров [11]: капитальных затрат на приобретение оборудования газорегуляторного пункта, затрат на проектирование, его монтаж и наладку, платы за загрязнение воздушного бассейна, а также за размещение и утилизацию отходов, образующихся при эксплуатации газорегуляторного пункта. Все перечисленные параметры приведены нами к безразмерным величинам. Результаты определения экономического фактора для каждого варианта газорегуляторного пункта приведены в таблице 9.

Таблица 9

Итоговые значения экономического фактора для каждого варианта газорегуляторного пункта

Вариант оценки	Значения экономического фактора
1	0,82
2	1,00

На основании анализа полученных результатов (таблица 9) можно заключить, что вариант 2 с экономической точки зрения является менее выгодным.

Учитывая, что результатом выполненных исследований является эколого-экономическая эффективность исследуемых вариантов газорегуляторного пункта, основанная на экологическом и экономическом факторах, она представлена нами графически следующим образом (рис. 6).

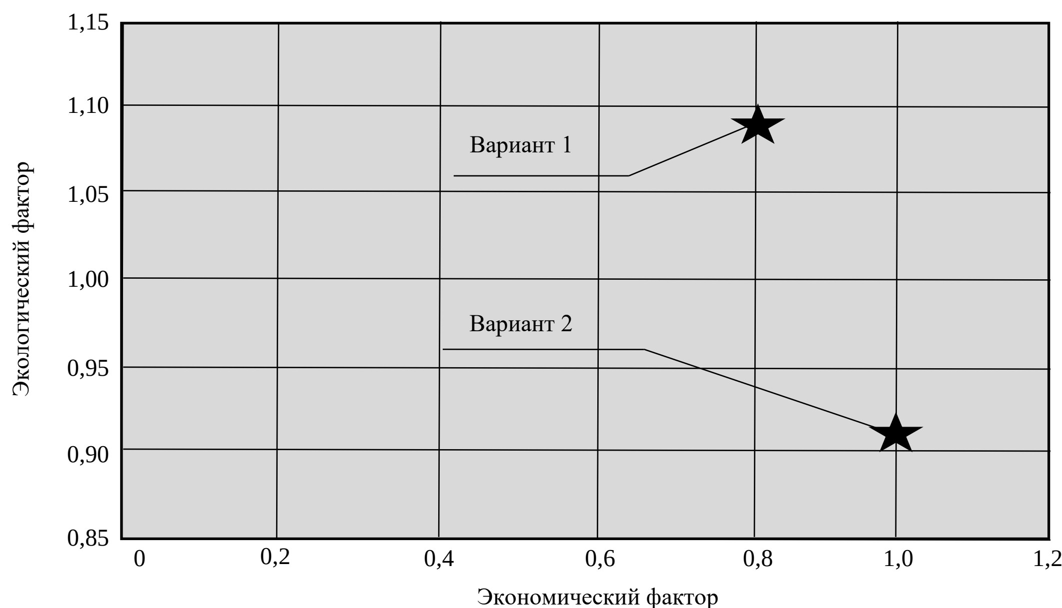


Рис. 6. Эколого-экономическая эффективность исследуемых вариантов газорегуляторного пункта

Анализ результатов, представленных на рис. 6, дает возможность сделать вывод о том, что вариант компоновки газорегуляторного пункта с детандер-генераторным агрегатом оказывает меньшее негативное воздействие на окружающую среду по сравнению с газорегуляторным пунктом с регулятором давления.

При этом видно, что экономический фактор для обоих вариантов практически одинаков. Из этого следует, что наибольшей эколого-экономической эффективностью из рассматриваемых вариантов обладает газорегуляторный пункт с детандер-генераторным агрегатом.

Таким образом, можно заключить, что в результате выполненных исследований систем жизнеобеспечения населенных мест на примере газорегуляторного пункта методом анализа жизненного цикла решена задача поиска для его вариантов оптимального сочетания экологического и экономического факторов с последующей оценкой эколого-экономической эффективности при организации и эксплуатации систем газоснабжения.

Список литературы

1. Щетинина Е.Д., Шемякина А.Е. Определение этапа жизненного цикла продукта и особенности маркетинговых мероприятий на различных этапах жизненного цикла. *Белгородский экономический вестник.* 2021;1(101):59–63. URL: http://dspace.bstu.ru/jspui/handle/123456789/4050 (дата обращения: 10.07.2023).

2. Пастусова В.Н. Методы определения стадий жизненного цикла. *NovaInfo. Экономические науки.* 2016;52:107–110. URL: https://novainfo.ru/article/7893 (дата обращения: 10.07.2023).

3. Брусницына Д.Б. *Классификация инженерных систем жизнеобеспечения городов.* В: Сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции «Интеллектуальные технологии и техника в производстве и промышленности». Стерлитамак; 2017. С. 16–18. URL: https://ami.im/sbornik/MNPK-TT-16.pdf (дата обращения: 10.07.2023).

4. Рудченко И.И., Загнитко В.Н. Организация и эксплуатация систем жизнеобеспечения населенных мест. *Чрезвычайные ситуации: промышленная и экологическая безопасность.* 2015;4:116–125.

5. Прахова Т.Н., Сатаева Д.М. *Управление качеством на этапах жизненного цикла объектов газоснабжения:* монография. Нижний Новгород: ННГАСУ; 2014. 147 с.

6. Трифонова Т.А., Ильина М.Е. Жизненный цикл и его оценка как инструмент экологического менеджмента. Владимир: Изд-во «Аркаим»; 2016. 68 с.

7. Бегларян К.Э. Теоретико-практические аспекты формирования имиджа учреждений культуры. *Научная палитра.* 2020;2(28):14. URL: https://s.esrae.ru/culture/pdf/2020/2(28)/891.pdf (дата обращения: 10.07.2023).

8. Садунишвили Т., Гурова О.С., Парамонова О.Н. и др. Инновационные методологии защиты окружающей среды: систематизация ремедиационных мероприятий и физико-энергетический подход. Ростов-на-Дону: ДГТУ; 2021. 161 с.

9. Шлегель К.Д., Верхотуров С.С. Токсикологические свойства газообразных загрязнений и их влияние на организм человека. *Актуальные проблемы авиации и космонавтики.* 2016;1(12):946–948. URL: https://clck.ru/35fXFH (дата обращения: 10.07.2023).

10. Bespalov V., Kotlyarova E. Analysis of the providing environmental safety supervision in construction and reconstruction of facilities in the urban territories. *MATEC Web of Conferences*. 2017;129:05005. https://doi.org/10.1051/matecconf/201712905005

11. Бездудная А.Г., Трейман М.Г. Методы и инструменты управления эффективностью природопользования на промышленных предприятиях: монография. Санкт-Петербург: Любавич; 2016. 126 с.

References

1. Shchetinina ED, Shemyakina AE. Opredelenie Ehtapa Zhiznennogo Tsikla Produkta i Osobennosti Marketingovykh Meropriyatii na Razlichnykh Ehtapakh Zhiznennogo Tsikla. *Belgorodskii Ehkonomicheskii Vestnik.* 2021;1(101):59–63. (In Russ.) URL: http://dspace.bstu.ru/jspui/handle/123456789/4050 (accessed: 10.07.2023).

2. Pastukhova VN. Metody Opredeleniya Stadii Zhiznennogo Tsikla. Naukosfera. 2018;4:85–88. (In Russ.) URL: https://novainfo.ru/article/7893 (accessed: 10.07.2023).

3. Brusnitsyna DB. Klassifikatsiya Inzhenernykh Sistem Zhizneobespecheniya Gorodov. In: *Proceedings of the International Science and Practical Conference "Intellektual'nye Tekhnologii i Tekhnika v Proizvodstve i Promyshlennosti"*. Sterlitamak; 2017. P. 16–18. (In Russ.) URL: https://ami.im/sbornik/MNPK-TT-16.pdf (accessed: 10.07.2023).

4. Rudchenko II, Zagnitko VN. Organizatsiya i Ehkspluatatsiya Sistem Zhizneobespecheniya Naselennykh Mest. *Chrezvychainye Situatsii: Promyshlennaya i Ehkologicheskaya Bezopasnost'*. 2015;4:116–125. (In Russ.).

5. Prakhova TN, Sataeva DM. *Upravlenie Kachestvom na Ehtapakh Zhiznennogo Tsikla Ob"Ektov Gazosnabzheniya*. Monograph. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering Publ.; 2014. 147 p. (In Russ.).

6. Trifonova TA, Il'ina ME. Zhiznennyi Tsikl i Ego Otsenka kak Instrument Ehkologicheskogo Menedzhmenta. Vladimir: Arkaim Publ.; 2016. 68 p. (In Russ.).

7. Beglaryan KE. Teoreticheskie Aspekty Analiza Zhiznennogo Tsikla Predpriyatiya. *Nauchnaya Palitra.* 2020;2(28):14. (In Russ.) URL: https://s.esrae.ru/culture/pdf/2020/2(28)/891.pdf (accessed: 10.07.2023).

8. Sadunishvili T, Gurova OS, Paramonova ON, et. al. Innovatsionnye Metodologii Zashchity Okruzhayushchei Sredy: Sistematizatsiya Remediatsionnykh Meropriyatii i Fiziko-Ehnergeticheskii Podkhod. Rostov-on-Don: DSTU Publ.; 2021. 161 p. (In Russ.).

9. Shlegel' KD, Verkhoturov SS. Toxicological Properties of Gaseous Contaminants and Their Impact on the Human Body. *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference of Creative Youth "Topical Problems of Aviation and Astronautics*. 2016;1(12):946–948. (In Russ.) URL: https://clck.ru/35fXFH (accessed: 10.07.2023).

10. Bespalov V, Kotlyarova E. Analysis of the Providing Environmental Safety Supervision in Construction and Reconstruction of Facilities in the Urban Territories. *MATEC Web of Conferences*. 2017;129:05005.
URL: https://doi.org/10.1051/matecconf/201712905005

11. Bezdudnaya AG., Treiman MG. Metody i Instrumenty Upravleniya Ehffektivnost'yu Prirodopol'zovaniya na Promyshlennykh Predpriyatiyakh. Monograph. Saint Petersburg: Lyubavich Publ.; 2016. 126 p. (In Russ.).

Поступила в редакцию 12.07.2023
Поступила после рецензирования 19.08.2023
Принята к публикации 26.08.2023

Об авторах:
Беспалов Вадим Игоревич, заведующий кафедрой «Инженерная защита окружающей среды» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), доктор технических наук, профессор, ScopusID, ORCID, izos-rgsu@mail.ru

Гурова Оксана Сергеевна, профессор кафедры «Инженерная защита окружающей среды» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), доктор технических наук, ScopusID, ORCID, okgurova@yandex.ru

Заявленный вклад соавторов:
В.И. Беспалов — формирование основной концепции, цели и задачи исследования, научное руководство.
О.С. Гурова — анализ результатов исследований, корректировка выводов, графическое оформление, доработка текста.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Received 12.07.2023
Revised 19.08.2023
Accepted 26.08.2023

About the Authors:
Vadim I. Bespalov, Dr.Sci. (Engineering), Professor, Head of the Engineering Protection of Environment Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), ScopusID, ORCID, izos-rgsu@mail.ru

Oksana S. Gurova, Dr.Sci. (Engineering), Professor of the Engineering Protection of Environment Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), ScopusID, ORCID, okgurova@yandex.ru

Claimed contributorship:
VI Bespalov — designing the main concept, goals and objectives of the research, scientific supervision;
OS Gurova — research results analysis, correcting the conclusions, graphic design, refining the text.

Conflict of interest statement: the authors do not have any conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.





УДК 624.138:624.131.4

Научная статья

https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-3-17-30



Определение модуля деформации закрепленного грунтового основания по данным штамповых испытаний и геотехнического мониторинга

А.Ю. Прокопов ✉, **И.В. Сычев**, **А.В. Рязанцева**

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

✉ prokopov72@rambler.ru

Аннотация

Введение. Широко распространенные на Юге России просадочные грунты создают ряд проблем и опасностей, связанных с высокой вероятностью возникновения просадок оснований фундаментов в случае превышения начальной просадочной влажности и начального просадочного давления. Учет данного фактора очень важен на всех стадиях жизненного цикла здания или сооружения, особенно на этапе проектирования, когда должны быть разработаны научно обоснованные конструктивные и технологические решения, обеспечивающие надежную эксплуатацию объектов в рассматриваемых сложных инженерно-геологических условиях.

В настоящей статье выполнен анализ действующих федеральных и территориальных нормативно-технических документов в области проектирования зданий и сооружений на просадочных грунтах; на основе численного эксперимента показана некорректность результатов, получаемых в ряде случаев по нормативным методикам; предложен новый метод расчета, основанный на определении модуля деформации закрепленного грунтового основания по данным штамповых испытаний и геотехнического мониторинга.

Материалы и методы. В исследовании проводились:

– анализ существующих подходов и методов к проектированию оснований и фундаментов в условиях просадочных грунтов;

– численные эксперименты, включающие расчеты по нормативным методикам с вариацией исходных данных как по начальным характеристикам грунтов, так и по технологическим параметрам закрепления, и статистическую обработку их результатов;

– анализ результатов ранее выполнявшегося авторами геотехнического мониторинга зданий, построенных на закрепленных грунтах, и экспериментальных исследований деформационных свойств с применением запатентованного устройства;

– определение основных факторов, влияющих на проектные решения по усилению грунтового основания и фундаментов здания, воспринимающих сложный комплекс эксплуатационных нагрузок и установление новой зависимости модуля деформации закрепленного грунта от его начального модуля деформации и процента армирования.

Результаты исследования. Установлено, что существующие методики расчета закрепленных оснований не обеспечивают достаточную точность для определения прогнозируемых осадок зданий и сооружений, и полученные расчетные значения не всегда соответствуют фактически возникающим деформациям оснований и фундаментов. Установлена зависимость модуля деформации закрепленного грунтового основания от начального модуля деформации грунта и процента его армирования цементно-песчаным раствором. Разработан новый метод расчета, основанный на определении модуля деформации закрепленного грунтового основания по данным штамповых испытаний с применением запатентованного устройства и геотехнического мониторинга.

Обсуждение и заключение. Установлено, что модуль деформации закрепленного методом цементации грунтового массива нелинейно зависит от процента армирования грунта цементно-песчаным раствором и начального модуля деформации грунта, при этом указанная зависимость описывается уравнением поверхности второго порядка общего вида. Рекомендовано использовать полученные зависимости при проектировании технологических параметров закрепления в условиях просадочных грунтов Ростовской области.

Ключевые слова: просадочные грунты, усиление грунтов, фундаменты, штамповые испытания, геотехнический мониторинг

Для цитирования. Прокопов А.Ю. Сычев И.В., Рязанцева А.В. Определение модуля деформации закрепленного грунтового основания по данным штамповых испытаний и геотехнического мониторинга. *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий*. 2023;2(3):17–30. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-3-17-30

Original article

Determining the Stabilised Subfoudation Soil Deformation Modulus According to the Plate Load Tests and Geotechnical Monitoring Data

Albert Yu. Prokopov , **Ilya V. Sychev** , **Anastasiya V. Ryazantseva**

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

✉ prokopov72@rambler.ru

Abstract

Introduction. The subsiding soils, which are widely spread in the south of Russia, create a number of problems and hazards due to the high probability of subfoundations subsidence in case of exceeding the values of initial soil moisture and initial pressure for subsidence. This is an important phenomenon to be considered at all life cycle stages of a building or structure, especially at the stage of design, when the scientifically justified design and technological solutions must be developed to ensure the reliable operation of facilities in the complicated engineering and geological conditions being studied hereby. The present article analyses the acting federal and regional regulatory and technical documentation in the field of buildings and structures design on the subsiding soils. Based on the numerical experiment, the incorrectness of the results sometimes received upon following the normative methodology is shown. A new calculating methodology based on determining the stabilised subfoudation soil deformation modulus according to the plate load tests and geotechnical monitoring data is proposed.

Materials and Methods.The research comprised:

– analysis of the existing approaches and methodologies for the subfoundations and foundations design on the subsiding soils;

– numerical experiments, including calculations according to the normative methodology, which implied variation of the original data of both the initial properties of soils and technological parameters of stabilisation, as well as statistical processing of the results;

– analysis of the carried out earlier by the authors geotechnical monitoring results of the buildings built on the stabilised soils and experimental study of the deformation properties using a patented device;

– determining the main factors having influence on the design solutions for the subfoudation soils and building foundations strengthening under a complicated set of operational loads and establishing a new dependence of the stabilised soil deformation modulus on the initial soil deformation modulus and percentage of soil reinforcement.

Research results. It has been established that the existing methodologies for calculating the stabilised subfoudation soils are not enough precise for determining the forecastable subsidence of buildings and structures, and the obtained design values do not always correspond to the factual deformations of subfoundations and foundations. The dependence of the stabilised subfoudation soil deformation modulus on the initial soil deformation modulus and percentage of soil reinforcement with the cement-sand mortar has been traced. A new calculating methodology has been developed based on determining the stabilised subgrade soil deformation modulus according to the data of the plate load tests using a patented device and geotechnical monitoring.

Discussion and conclusion. It has been established that the deformation modulus of the soil mass stabilised by the cementation method depends non-linearly on percentage of soil reinforcement with the cement-sand mortar and the initial soil deformation modulus, and this dependence is described by a second-order surface equation of a general form. It is recommended to apply the discovered dependencies for designing the technological parameters of the subsiding soils stabilisation in the Rostov region conditions.

Key words: subsiding soils, soil strengthening, foundations, plate load tests, geotechnical monitoring

For citation. Prokopov AYu, Sychev IV, Ryazantseva AV. Determining the Stabilised Subfoudation Soil Deformation Modulus According to the Plate Load Tests and Geotechnical Monitoring Data. *Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning.* 2023;2(3):17–30. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-3-17-30

Введение. При проектировании, строительстве и эксплуатации зданий и сооружений на просадочных грунтах одной из главных проблем является обеспечение эксплуатационной надежности и безопасности объектов при природном и техногенном подтоплении или затоплении. Если грунты основания обладают просадочными свойствами, то при достижении определенной влажности возникают просадочные явления, которые зачастую вызывают неравномерные вертикальные деформации фундаментов и наземных несущих конструкций. Это приводит к существенным нарушениям строительных конструкций вплоть до потери устойчивости здания или сооружения. Во избежание таких последствий современные нормативные документы требуют обязательного проведения мероприятий по снижению или полной ликвидации просадочных свойств грунтов основания. Одним из наиболее эффективных методов устранения просадочных свойств грунтов, получивших распространение в Ростовской области и других регионах Юга России, является метод цементации грунтов, основанный на инъекционном нагнетании через пробуренные скважины цементных или цементно-песчаных растворов. Основной проблемой, ограничивающей применение указанного метода, является сложность и недостаточная точность существующих методов контроля качества закрепления грунтов, а также недостатки известных методов расчета и проектирования закрепленных оснований, которые зачастую приводят к получению завышенных деформационных характеристик закрепленных грунтов и не позволяют адекватно спрогнозировать расчетные осадки фундаментов.

Теоретические расчеты модуля деформации грунтов и осадки основания по действующим нормативным документам, включая территориальные строительные нормы, зачастую не подтверждаются результатами геотехнического мониторинга с замерами фактических осадок, которые в строительной практике Ростовской области могут в разы превышать расчетные значения. Наиболее точные результаты измерения деформационных характеристик грунтового основания, включая их просадочные свойства, достигаются полевыми испытаниями, среди которых следует выделить испытания грунтов штампами. Подтверждение расчетной осадки грунтов после их закрепления впоследствии также должно осуществляться инструментальными методами, включая геодезические измерения вертикальных и горизонтальных перемещений контрольных точек.

Таким образом, обоснование технологических параметров армирования просадочных грунтов на основании анализа данных штамповых испытаний и геотехнического мониторинга является актуальной научно-технической задачей в области технологии строительного производства и геотехники.

Целью работы является установление закономерностей изменения деформационных характеристик грунтовых массивов в процессе закрепления для разработки эффективных технологических параметров армирования грунтов цементно-песчаными растворами.

Идея работы заключается в том, что технологические параметры армирования грунтов цементно-песчаным раствором определяются для достижения требуемых деформационных характеристик закрепленного массива, рассчитанных с учетом закономерностей, установленных по результатам штамповых испытаний и геотехнического мониторинга на подобных объектах.

Фундаментальными исследованиями свойств лессовых просадочных грунтов, прогнозированием их поведения при различных природных и техногенных воздействиях и связанными с этим геологическими рисками занимались известные ученые Института геоэкологии РАН: Сергеев Е.М., Осипов В.И. [1–3] и др.; МГУ им. М.В. Ломоносова: Трофимов В.Т. [4], Соколов В.Н. и др.; РИСИ-РГСУ-ДГТУ: Ананьев В.П. [5, 6], Воляник Н.В., Приходченко О.Е. и др.

Проблемам проектирования, строительства и эксплуатации зданий и сооружений в сложных инженерно-геологических условиях, в т. ч. на структурно-неустойчивых грунтах, посвящены труды ученых:

– СПбГАСУ: Мангушева Р.А. [7], Осокина А.И. [7] и др.;

– МГСУ: Абелева М.Ю., Тер-Мартиросяна З.Г., Евтушенко С.И. и др.;

– НИЦ «Строительство», в т. ч. НИИОСП им. Н.М. Герсеванова: Ильичева В.А., Сорочана Е.А., Крутова В.И., Колыбина И.В., Коновалова П.А. и др.;

– КубГАУ: Шадунца К.Ш., Полищука А.И. и др.;

– СКФУ: Галай Б.Ф. [8] и др.;

– ВолГТУ: Пшеничкиной В.А., Олянского Ю.И., Богомолова А.И. и др.;

– ЮРГПУ(НПИ) им. М.И. Платова: Мурзенко Ю.Н., Скибина Г.М., Дыба В.П., Субботина А.И. и др.;

– ДГТУ: Черкасова С.М. [9], Должикова П.Н. [10], Гридневского А.В., Акопяна В.Ф. [10, 11], Акопяна А.Ф. [10, 11], Таржиманова М.А., Жура В.Н. [12–15], Белаша В.В. [16], Фоменко Л.Н. [17], а также авторов настоящей статьи [10, 13–15, 18, 19] и др. ученых.

Проектирование и строительство зданий и сооружений в условиях просадочных грунтов Ростовской области, включая разработку проектов усиления грунтовых оснований различными методами, в настоящее время осуществляется на основании рекомендаций и требований следующих федеральных и территориальных нормативно-технических документов:

– СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07–85*;

– СП 21.13330.2012 Здания и сооружения на подрабатываемых территориях и просадочных грунтах. Актуализированная редакция СНиП 2.01.09–91;

– СП 22.13330.2016 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01–83;

– СП 24.13330.2011 Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03–85;

– СП 45.13330.2017 Земляные сооружения, основания и фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 3.02.01–87;

– СП 116.13330.2012 Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 22-02–2003;

– СП 131.13330.2012 Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01–99*;

– СП 50-101–2004 Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений;

– СП 291.1325800.2017 Конструкции грунтоцементные армированные. Правила проектирования;

– ГОСТ Р 59706–2022. Грунты химически закрепленные. Технические условия;

– ГОСТ Р 59538–2021. Растворы инъекционные для закрепления грунтов на основе цемента. Технические условия;

– ГОСТ Р 59705–2021. Растворы инъекционные для закрепления грунтов на основе силиката натрия. Технические условия;

– Методическое пособие по укреплению грунтов методами струйной цементации, глубинным перемешиванием, инъекции растворами на основе микроцементов, манжетной инъекцией в режиме гидроразрывов.

– ТСН-50-306–2005 Ростовской области. Основания и фундаменты повышенной несущей способности и др.

Задачами настоящей статьи являются: критический анализ нормативных требований и рекомендаций по расчету деформационных характеристик закрепленного грунтового основания, в т. ч. разработанных применительно к условиям просадочных грунтов Ростовской области (ТСН-50-306–2005); выявление недостатков применяемых подходов и несоответствий расчетных значений деформационных характеристик фактически зафиксированным в практике строительства в г. Ростове-на-Дону и Ростовской области, а также разработка нового метода оценки модуля деформации закрепленного основания и контроля качества работ по закреплению на его основе.

Материалы и методы. Для сравнительного анализа приняты следующие методики расчета деформационных характеристик закрепленного грунтового основания:

1) Методика ТСН-50-306–2005 Ростовской области. Основания и фундаменты повышенной несущей способности с использованием минимальных рекомендованных значений модуля деформации по Приложению Ж;

2) Методика ТСН-50-306–2005 с использованием минимально допустимых значений модуля деформации по ГОСТ Р 59706–2022;

3) Авторская методика, разработанная на основании штамповых испытаний и геотехнического мониторинга на объектах строительства в г. Ростове-на-Дону и г. Волгодонске [19].

Методика 1. При разработке проектов закрепления просадочных грунтов в Ростовской области проектировщики, как правило, применяют метод расчета по ТСН-50-306–2005, основанный на определении необходимой для обеспечения несущей способности степени (процента) армирования A, %, грунтового основания и расчете на его основе средневзвешенного модуля деформации $E_{ср.взв}$. Иногда процент армирования A задают без расчетного обоснования, исходя из обеспечения допустимой осадки при достижении закрепленным основанием определенного теоретического значения $E_{ср.взв}$:

$$E_{ср.взв} = \frac{E_г F_г + E_{эл} F_{эл}}{F},$$

где F — площадь расчетной ячейки под подошвой фундамента, м^2; $F_г$, $F_{эл}$ — соответственно площадь грунта и цементогрунтового элемента в расчетной ячейке, м^2; $E_г$, $E_{эл}$ — соответственно средний модуль деформации грунта и цементогрунтового элемента, МПа.

Получим выражение для средневзвешенного модуля деформации, исходя из известной степени армирования A. Для этого запишем определяющее его уравнение:

$$A = \frac{V_{эл}}{V}, \quad (1)$$

где $V_{эл}$ и V — соответственно объем цементогрунтовых элементов и общий объем закрепляемого грунтового массива под подошвой фундамента, м^3.

Исходя из равномерного распределения цементогрунтовых элементов в закрепляемом массиве по глубине и по площади, можно считать, что в произвольном горизонтальном сечении, ограниченном площадью закрепляемого массива F, будет справедливо равенство:

$$A = \frac{V_{эл}}{V} = \frac{F_{эл}}{F}. \quad (2)$$

В этом случае площадь грунта $F_г$ в расчетной ячейке определится как разность общей площади ячейки F и площади цементогрунтовых элементов $F_{эл}$:

$$F_г = F - F_{эл}. \quad (3)$$

Исходя из уравнений (1)–(3), получим систему:

$$\begin{cases} E_{\text{ср.взв}} = \frac{E_{\text{г}}\,(1-F_{\text{эл}})\,+E_{\text{эл}}\,F_{\text{эл}}}{F}. \\ A = \frac{F_{\text{эл}}}{F}. \end{cases} \quad (4)$$

Для единичной площади $F = 1$ система (4) примет вид:

$$\begin{cases} E_{\text{ср.взв}} = E_{\text{г}}\,(1 - F_{\text{эл}})\; + E_{\text{эл}}\,F_{\text{эл}} \\ A = F_{\text{эл}}. \end{cases}.$$

Следовательно, средневзвешенный модуль деформации закрепленного грунта $E_{\text{ср.взв}}$ для единичной площади закрепления $F = 1$ может быть выражен через модули деформации грунта $E_{\text{г}}$, элементов цементогрунта $E_{\text{эл}}$ и степень армирования A в относительных единицах:

$$E_{\text{ср.взв}} = E_{\text{г}}\,(1 - \mathrm{A})\; + E_{\text{эл}}\,\mathrm{A}. \quad (5)$$

Проведем численный эксперимент, используя уравнение (5), при этом будем изменять начальный модуль деформации грунта и степень армирования, оставляя неизменным модуль деформации элементов цементогрунта $E_{\text{эл}}$, предварительно задав его, исходя из рекомендаций ТСН-50-306–2005 (Приложение Ж).

Согласно указанным нормам модуль деформации цементогрунта $E_{\text{эл}}$ определяется, исходя из состава последнего, в частности процентного соотношения между цементом и другими компонентами инъецируемого раствора. Для расчета принимаем наихудшее значение $E_{\text{эл}}$ = 500 МПа, достигаемое при самом низком процентном содержании цемента $C_{\text{ц}}$ в изготавливаемом растворе. Для удобства использования зависимости $E_{\text{эл}} = f\,(C_{\text{ц}})$, по данным ТСН-50-306–2005 (Приложение Ж), построим ее график (рис. 1).

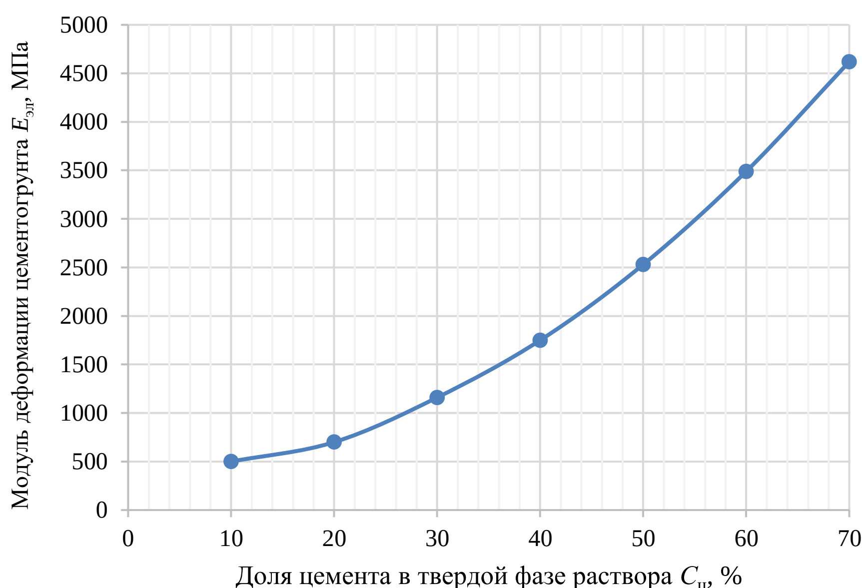


Рис. 1. График зависимости модуля деформации цементогрунта от содержания цемента в твердой фазе раствора (построен авторами по данным ТСН-50-306–2005)

Исходя из анализа инженерно-геологических условий Ростовской области и всего Юга России, а также результатов исследований авторов [5, 6, 8, 9, 12–14, 19], принимаем диапазон варьирования начального модуля деформации грунтов $E_{\text{г}}$ в пределах от 3 до 10 МПа.

Исходя из опыта закрепления просадочных грунтов [8, 9, 12–19], принимаем диапазон варьирования степени армирования A в пределах от 0 до 16 %.

Результаты расчетов представлены в виде семейства графиков (рис. 2 *а*) и поверхности (рис. 2 *б*).

Как следует из результатов, приведенных на рис. 2, при расчете $E_{\text{ср.взв}}$ по нормам ТСН-50-306–2005 решающее значение имеет процент армирования A, от которого линейно зависит $E_{\text{ср.взв}}$, при этом количественные значения даже при минимальных процентах армирования A = 6–7 %, применяемых в проектах закрепления грунтов, достигают 35–45 МПа, что не соответствует реальным значениям, достигаемым на практике и определяемым

штамповыми испытаниями или рассчитываемым косвенно по значениям осадок, наблюдаемых в процессе геотехничекого мониторинга. В случае же степени армирования A = 10–12 % методика дает совсем некорректные результаты ($E_{ср.взв}$ = 55–70 Мпа), что соответствует полускальным и скальным грунтам), практически недостижимые ни на каких просадочных грунтах.

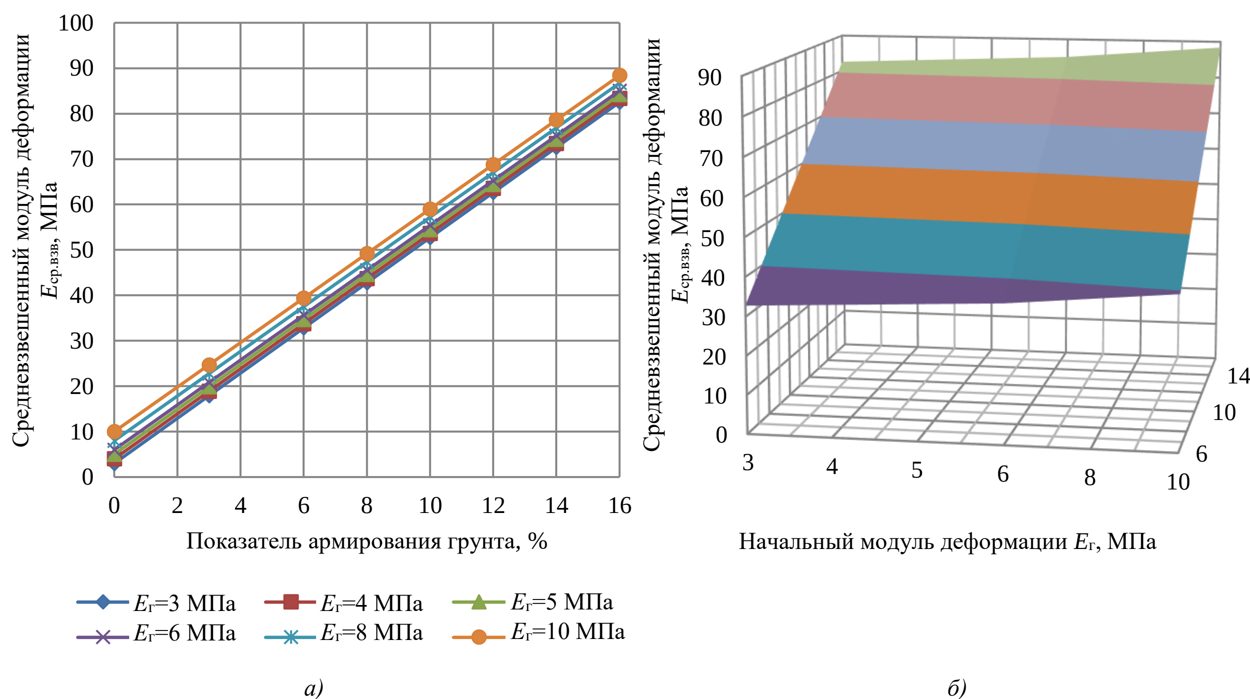


Рис. 2. Результаты расчета зависимости средневзвешенного модуля деформации $E_{ср.взв}$ закрепленного массива от степени армирования A и начального модуля деформации грунта $E_г$ по нормам ТСН-50-306–2005:
а — в виде семейства графиков; *б* — в виде поверхности

Следует отметить, что расчеты выполнены для наихудшего модуля деформации грунтоцементных элементов (рис. 1). Фактически содержание цемента в инъецируемом растворе гораздо больше, поэтому результаты, полученные на рис. 2, будут еще более многократно завышены, тем самым могут приводить к неверным проектным решениям, в т. ч. технологическим, в части требуемого процента армирования A и расхода цемента на заданный объем закрепляемого массива.

Причинами такого несоответствия расчетных значений модуля деформации массива закрепленного грунта, полученных по методике ТСН-50-306–2005, фактическому модулю, установленному нами на различных объектах по результатам штамповых испытаний и геотехнического мониторинга осадок зданий на закрепленном основании, являются:

– во-первых, завышенные значения модулей деформации самих грунтоцементных элементов, которые согласно ТСН-50-306–2005 (Приложение Ж) могут достигать 4620 МПа;

– во-вторых, неверный подход к расчету модуля деформации массива закрепленного грунта, заключающийся в определении средневзвешенного модуля $E_{ср.взв}$ между модулями грунтов $E_г$ и грунтоцементных элементов $E_{эл}$ и используемого затем для расчета осадки, что приводит к многократно заниженным значениям вертикальных деформаций.

Методика 2. Произведем расчет средневзвешенных модулей деформаций $E_{ср.взв}$, но в качестве модулей деформации элементов из цементогрунта примем не значения из ТСН-50-306–2005 (Приложение Ж), имеющего рекомендательный характер, а из ГОСТ Р 59706–2022 Грунты химически закрепленные. Технические условия, утвержденного и введенного в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 18 апреля 2022 г. № 82-ст.

Согласно ГОСТ Р 59706–2022 (таблица 1) элементы закрепленного грунта в зависимости от предела прочности на сжатие делятся на 8 классов: от С0,5 до С10, при этом модули деформации элементов грунта, закрепленных растворами на основе цемента, линейно зависят от предела прочности на сжатие (рис. 3).

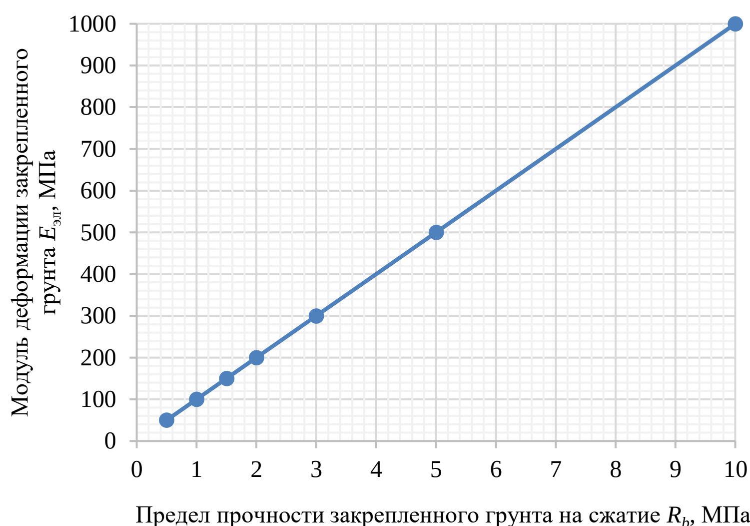


Рис. 3. График зависимости модуля деформации закрепленного грунта от его предела прочности на сжатие (построен авторами по данным ГОСТ Р 59706–2022)

Согласно ГОСТ Р 59706–2022 (таблица 2) нормируемая прочность на сжатие грунта, закрепленного инъецированием цементных растворов, в грунтах с коэффициентом фильтрации от 0,5 до 10 м/сут должна составлять не менее 0,5 МПа.

По графику (рис. 4) определяем, что для закрепленного грунта с такой прочностью на сжатие модуль деформации составляет 50 МПа, что на порядок ниже значения, рекомендуемого ТСН-50-306–2005 (Приложение Ж) для наименьшего по содержанию цемента инъецируемого раствора.

Проведем аналогичный численный эксперимент по определению средневзвешенного модуля деформации $E_{ср.взв}$ так же, как и по ТСН-50-306–2005, но при условии, что модуль деформации элементов из цеметогрунта определен как для минимально допустимого по прочности на сжатие в соответствии с ГОСТ Р 59706–2022.

Результаты расчетов аналогично представлены в виде семейства графиков (рис. 4 *а*) и поверхности (рис. 4 *б*).

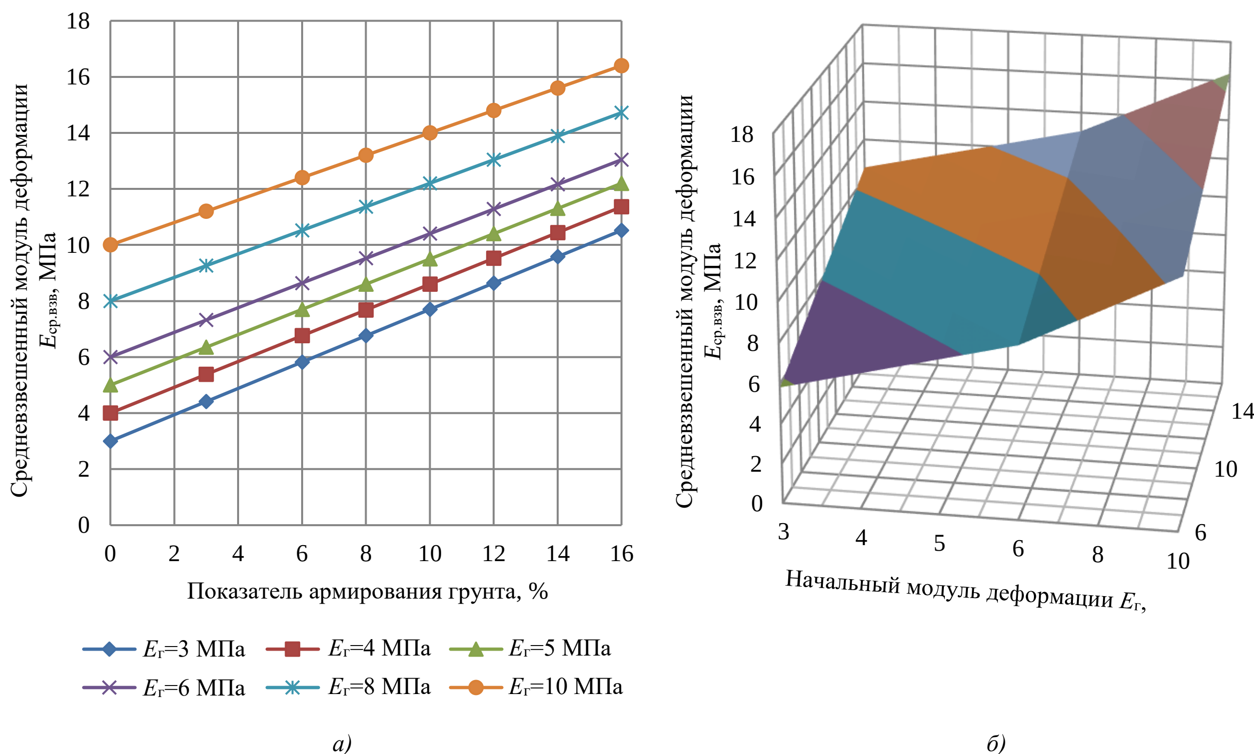


Рис. 4. Результаты расчета зависимости средневзвешенного модуля деформации $E_{ср.взв}$ закрепленного массива от степени армирования *А* и начального модуля деформации грунта $E_г$ по нормам ГОСТ Р 59766–2022:
а — в виде семейства графиков; *б* — в виде поверхности

Результаты, приведенные на рис. 4 *а, б* для минимально возможных по прочности на сжатие цементогрунтовых элементов по ГОСТ Р 59706–2022, существенно отличаются от аналогичных данных, рассчитанных в соответствии с рекомендациями ТСН-50-306–2005 (рис. 2 *а, б*).

Исходя из опыта проектирования закрепленных оснований, непосредственного выполнения работ по закреплению методом цементации, контроля качества закрепления грунтовых массивов, геотехнического мониторинга вертикальных деформаций зданий и сооружений на просадочных грунтах, можно сделать вывод о том, что результаты, приведенные на рис. 4 *а, б*, являются более адекватными и близкими к реальным значениям модулей деформации закрепленных массивов, получаемым на практике.

Если аналогичные расчеты выполнять не для минимально допустимых ГОСТ Р 59706–2022 по прочности инъецируемых растворов (0,5 МПа), например, 1,0–1,5 МПа, то будут получены большие значения модулей деформации закрепленных грунтовых массивов — в пределах 18–25 МПа, что чаще всего и закладывается в проекты закрепления просадочных оснований.

Методика 3 (авторская). Для сопоставления полученных расчетных значений модуля деформации закрепленного грунтового массива, исходя из рекомендаций ТСН-50-306–2005 и требований ГОСТ Р 59706–2022, с фактическими значениями модулей деформации, получаемыми на практике, авторами был выполнен ряд экспериментов и наблюдений в рамках геотехнического мониторинга деформаций зданий и сооружений на закрепленных грунтах.

Экспериментально модуль деформации закрепленных грунтов определялся штамповыми испытаниями с помощью специально разработанного запатентованного устройства[1], подробно описанного нами в работе [19].

Достоинством указанного устройства является его большая площадь (около 6 м^2), что позволяет исключить погрешности измерения, связанные с неравномерным распределением грунтоцементных элементов в закрепляемом массиве, и получить усредненное значение модуля деформации по аналогии с расчетом некоего средневзвешенного модуля деформации, расчеты которого по методике ТСН-50-306–2005 и нормам ГОСТ Р 59706–2022 приведены выше.

Предлагаемый метод определения модуля деформации закреплённого грунтового массива позволяет отказаться от расчета средневзвешенного значения модуля, а также использовать зависимости, полученные по результатам непосредственных испытаний закрепленных грунтов при различных начальных модулях деформации просадочных грунтов и разной степени (проценте) армирования массива цементогрунтовыми элементами. Кроме того, для статистической обработки результатов были использованы значения модулей деформации закрепленных грунтовых массивов, полученные расчетным путем, исходя из замера осадок построенных зданий в ходе геотехнического мониторинга.

Результаты исследования. В таблице 1 сведены результаты расчета модуля деформации закрепленного грунтового массива, полученные по результатам штамповых испытаний на нескольких объектах, а также по результатам геотехнического мониторинга осадок зданий, построенных в г. Ростове-на-Дону и г. Волгодонске на грунтовых основаниях, закрепленных методом армирования цементно-песчаным раствором.

Таблица 1

Сводная таблица результатов расчета модуля деформации закрепленного грунта по экспериментальным данным штамповых испытаний и геотехнического мониторинга

Степень армирования грунта A, %	Модуль деформации закрепленного грунта E_R, МПа, при начальном модуле деформации просадочного грунта E_0, МПа					
0	3	4	5	6	8	10
6	8	9	10	11	12	15
8	9	10	12	14	16	18
10	10	12	16	18	19	20
12	12	15	18	19	20	21
14	14	17	19	20	21	22
16	15	18	20	21	22	22

На основании проведенных испытаний и сбора данных геотехнического мониторинга по данным таблицы 1 были построены графики зависимости модуля деформации закрепленного грунта E_R, МПа, от процента армирования A, %, для различных значений начального модуля общей деформации в водонасыщенном состоянии E_0, который для инженерно-геологических условий Ростовской области варьируется от 3 до 10 МПа (рис. 5).

[1] Сычев И.В., Таржиманов М.А. *Устройство для испытания грунтов, армированных цементно-песчаным раствором.* Патент на полезную модель РФ, № 2015146063/03. 2016.

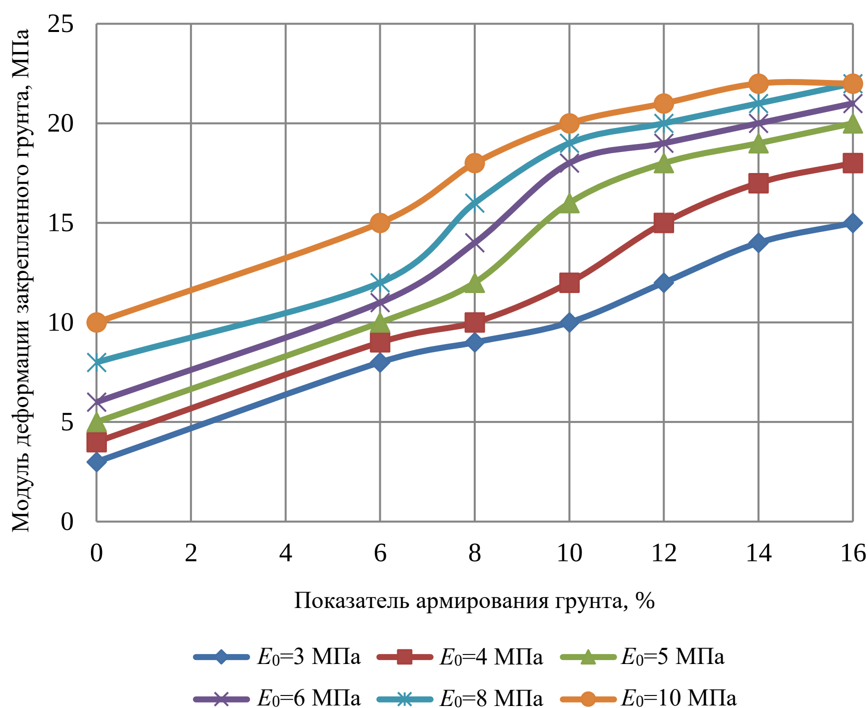


Рис. 5. Графики зависимости модуля деформации закрепленного грунтового массива от показателя армирования грунтов при различных начальных модулях деформации (построены авторами по собственным экспериментальным данным и результатам геотехнического мониторинга)

Для определения вида множественной корреляции и вида функции $E_R = f(E_0; A)$ построим поле корреляции в виде поверхности (рис. 6).

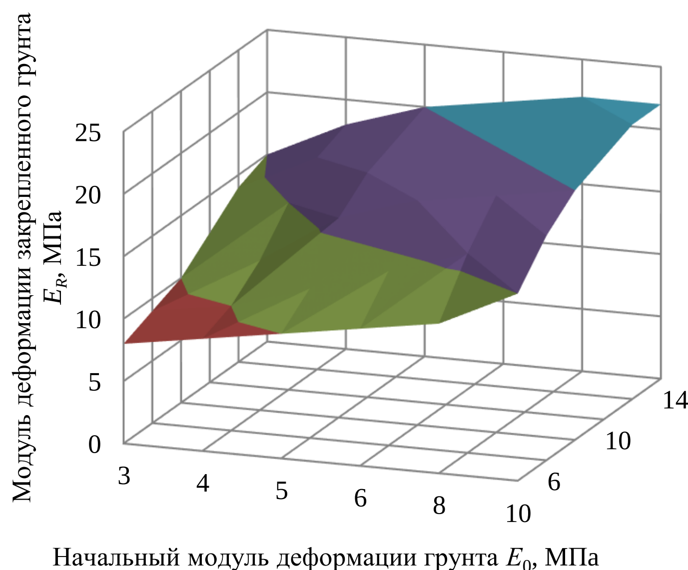


Рис. 6. Поле корреляции для установления вида зависимости $E_R = f(E_0; A)$

Как следует из графиков, приведенных на рис. 5 и 6, между исследуемыми параметрами имеется нелинейная корреляционная связь, при этом нелинейность наблюдается при проценте армирования от 8 до 16 %, максимальное приращение модуля деформации грунта отмечается при увеличении процента армирования от 8 до 12 % с последующим уменьшением скорости роста. Этот эффект объясняется тем, что при повышении процента армирования уменьшается количество пор, тем самым повышается модуль деформации, а при определенном насыщении грунта раствором снижение пористости происходит значительно медленнее, соответственно наблюдается более медленный рост модуля деформации.

При проценте армирования A = 16 % модуль закрепленного грунта E_R достигает от 15 до 22 МПа в зависимости от исходного модуля деформации, чего достаточно для большинства зданий и сооружений, проектируемых на ленточных или плитных фундаментах на искусственном основании. Увеличение процента армирования A свыше 16 % технически и экономически нецелесообразно. Здания, требующие по расчету большего модуля деформации закрепленного грунта по условиям ограничения максимальной осадки, целесообразно проектировать на свайном основании или применять другие методы ликвидации просадочных грунтов и повышения их деформационных характеристик.

По виду криволинейной поверхности (рис. 6) можно сделать вывод о том, что зависимость $E_R = f(E_0; A)$ можно описать уравнением поверхности 2-го порядка общего вида:

$$E_R = aA^2 + bE_0^2 + cAE_0 + dA + eE_0 + f,$$

где a, b, c, d, e, f — неизвестные коэффициенты аппроксимации.

С помощью метода наименьших квадратов (МНК) найдем значения коэффициентов:

$$a = 2{,}552;\ b = -0{,}148;\ c = -9{,}67 \cdot 10^{-5};\ d = 0{,}863;\ e = 3{,}043;\ f = -5{,}973.$$

С учетом ничтожности третьего слагаемого, которое не влияет на итоговый результат, уравнение зависимости $E_R = f(E_0; A)$ с достаточной точностью может быть записано в виде:

$$E_R = 2{,}552 \cdot 10^{-3}A^2 - 0{,}148E_0^2 + 0{,}863A + 3{,}043E_0 - 5{,}973,$$

где E_R — модуль деформации закрепленного грунта, МПа; E_0 — модуль деформации исходного грунта, МПа; A — процент армирования грунта цементным (цементно-песчаным) раствором, %.

Оценка точности полученного уравнения показывает, что среднее относительное отклонение между теоретическими значениями и экспериментальными данными, полученными по 42 результатам испытаний, составляет 8,5 %, а корреляционное отношение близко к 1. Это свидетельствует о достоверности полученного уравнения.

Обсуждение и заключение. По результатам исследования сделаны следующие выводы:

1. Используемый многими проектировщиками Ростовской области подход к проектированию закрепления просадочных грунтов основан на рекомендациях ТСН-50-306–2005 Ростовской области. Основания и фундаменты повышенной несущей способности, которые предусматривают расчет средневзвешенного модуля деформации закрепленного массива, исходя из соотношения площадей и модулей деформации грунтов и армирующих цементогрунтовых элементов.

2. ТСН-50-306–2005 (Приложение Ж) дают рекомендации по значениям расчетного модуля деформации цементогрунтовых элементов, который зависит от компонентного состава инъецируемого раствора (доли цемента в общей твердой фазе раствора) и находится в пределах от 500 до 4620 МПа.

3. Проведенный численный эксперимент свидетельствует о том, что использование методики ТСН-50-306–2005 применительно к проектированию цементации грунтов даже при минимальном значении модуля деформации цементогрунтовых элементов (500 МПа) и наиболее распространенных значениях показателя армирования A (от 6 до 16 %), принимаемых в проектах закрепления в Ростовской области, приводит к тому, что средневзвешенный модуль деформации закреплённого массива достигает:

– $E_{\text{ср.взв}}$ = 35–45 МПа при A = 6–7 % (минимальные показатели армирования);

– $E_{\text{ср.взв}}$ = 55–70 МПа при A = 10–12 % (средние показатели армирования);

– $E_{\text{ср.взв}}$ = 75–90 МПа при A = 14–16 % (максимальные показатели армирования), что не соответствует реальным значениям, достигаемым на практике и определяемым штамповыми испытаниями или рассчитываемым косвенно по значениям осадок, наблюдаемых в процессе геотехничекого мониторинга.

4. Причинами такого несоответствия расчетных значений модуля деформации массива закрепленного грунта, полученных по методике ТСН-50-306–2005, фактическому модулю, установленному по результатам штамповых испытаний и геотехнического мониторинга осадок зданий на закрепленном основании, являются:

– завышенные значения модулей деформации самих грунтоцементных элементов, которые согласно ТСН-50-306–2005 (Приложение Ж) могут достигать 4620 МПа;

– неверный подход к расчету модуля деформации массива закрепленного грунта, заключающийся в определении средневзвешенного модуля $E_{\text{ср.взв}}$ между модулями грунтов $E_{\text{г}}$ и грунтоцементных элементов $E_{\text{эл}}$ и используемого затем для расчета осадки, что приводит к многократно заниженным значениям вертикальных деформаций и ошибкам при проектировании.

5. Более адекватные результаты средневзвешенного модуля деформации закрепленного массива были получены в результате численного эксперимента с использованием минимальных требований к закрепленным грунтам в соответствии с недавно утвержденным ГОСТ Р 59766–2022. Согласно указанному ГОСТ модуль деформации элементов закрепленного грунта линейно зависит от его предела прочности на сжатие, которое находится в пределах от 50 до 1000 МПа соответственно для классов закрепленных грунтов от С0,5 до С10.

6. По результатам расчетов средневзвешенного модуля деформации для достижения минимально допустимого ГОСТ Р 59706–2022 класса С0,5, получены значения до 8–16 МПа в зависимости от степени армирования A, что неплохо коррелирует с результатами фактических модулей, достигаемых на практике. При повышении класса грунтов до С1 – С1,5 средневзвешенный модуль деформации повышается до 18–26 МПа при средних значениях процента армирования (A = 8–12 %). Таким образом, методика оценки модуля деформации закрепленного грунтового массива, основанная на определении средневзвешенного значения $E_{ср.взв}$, дает адекватные результаты для наиболее распространенных значений A при модуле деформации цементогрунтовых элементов в пределах 50–150 МПа.

7. Разработанное и запатентованное устройство с увеличенной площадью штампа, соизмеримой с площадью подошвы реальных столбчатых и ленточных фундаментов, позволяет наиболее адекватно и достоверно оценить модуль деформации грунтового основания после закрепления методом цементации, при этом конструкция стенда позволяет исследовать влияние процента армирования грунта на модуль деформации закрепленного грунта как при природной влажности, так и водонасыщенном состоянии (при S_r > 0,8).

8. Успешная промышленная апробация экспериментального стенда проведена при закреплении грунтов на объектах строительства и реконструкции в г. Ростове-на-Дону и показала высокую точность и надежность результатов измерения деформационных характеристик грунтового массива, закрепленного методом цементации.

9. В результате проведенных экспериментальных исследований, а также с учетом результатов геотехнического мониторинга осадок задний, построенных на закрепленных грунтовых основаниях в г. Ростове-на-Дону и г. Волгодонске, установлена нелинейная зависимость модуля деформации закрепленного грунтового основания E_R от процента армирования A и начального модуля деформации E_0, которая с высокой точностью и достоверностью описывается уравнением поверхности 2-го порядка общего вида. Среднее относительное отклонение теоретических и экспериментальных данных составляет 8,5 %, а корреляционное отношение близко к 1, что свидетельствует о высокой точности полученного уравнения.

Список литературы

1. Осипов В.И., Аникеев А.В., Бурова В.Н., Козлякова И.В., Постоев Г.П., Еремина О.Н. и др. *Геологический риск урбанизированных территорий*. Монография. Москва: РУДН; 2020. 312 с.

2. Осипов В.И., Карпенко Ф.С., Румянцева Н.А. Активная пористость и ее влияние на физико-механические свойства глинистых грунтов. *Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология*. 2014;(3):262–269. URL: https://naukarus.com/aktivnaya-poristost-i-ee-vliyanie-na-fiziko-mehanicheskie-svoystva-glinistyh-gruntov (дата обращения: 12.06.2023).

3. Osipov VI. Density of clay minerals. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 2012;48(6):231–240. https://doi.org/10.1007/s11204-012-9153-0

4. Трофимов В.Т. Опыт создания системы буронабивных грунтовых свай как эффективный метод глубинного укрепления массива просадочных лессовых грунтов. *Инженерная геология*. 2018;13(4–5):120–122.

5. Ананьев ВП. Лёссовые породы и инженерная геология. *Известия Ростовского государственного строительного университета*. 2011;(15):36–40.

6. Ананьев В.П., Потапов А.Д., Филькин Н.А. *Специальная инженерная геология*. Москва: ИНФРА-М; 2016. 263 с.

7. Мангушев Р.А., Осокин А.И., Усманов Р.А. *Устройство и реконструкция оснований и фундаментов на слабых и структурно-неустойчивых грунтах*. Монография. Санкт Петербург: Лань; 2021. 460 с. URL: https://reader.lanbook.com/book/171863?demoKey=167bac60ad16c29a83a26c6b02ef6ff5#2 (дата обращения: 12.06.2023).

8. Галай Б.Ф., Сербин В.В., Галай О.Б. Опыт уплотнения просадочных грунтов на Северном Кавказе. *Геотехника*. 2018;10(5–6):42–50. URL: https://www.geomark.ru/articles/opyt-uplotneniya-prosadochnykh-gruntov/ (дата обращения: 12.06.2023).

9. Черкасов С.М. Расчет величины деформаций лессовых просадочных грунтов от собственного веса и сравнение с результатами опытных работ. *Научное обозрение*. 2014;11(3):746–749.

10. Dolzhikov P., Prokopov A., Akopyan V. Foundation Deformations Modeling in Underworking and Hydroactivated Rocks. In*: Proceedings of the International Scientific Conference Energy Management of Municipal Transportation Facilities and Transport EMMFT 2017. Series: Advances in Intelligent Systems and Computing*. Cham: Springer Publ.; 2018. P. 647–654. https://doi.org/10.1007/978-3-319-70987-1_69

11. Akopyan V, Akopyan A. Experimental and Theoretical Investigation of the Interaction of the Reinforced Concrete Screw Piles with the Surrounding Soil. In*: 2nd International Conference on Industrial Engineering (ICIE-2016). Series: Procedia Engineering*. Amsterdam: Elsevier Publ.; 2016. P. 2202–2207.

12. Жур В.Н., Александров А.П., Куликов А.С. Анализ просадочных процессов при компрессионном сжатии глинистых грунтов Ростовской области и Республики Калмыкия. *Инженерный вестник Дона*. 2021;73(1). URL: http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2021/6801 (дата обращения: 12.06.2023).

13. Прокопова М.В., Прокопов А.Ю., Жур В.Н. Усиление просадочных грунтов под существующей застройкой г. Ростова-на-Дону. *Труды Ростовского государственного университета путей сообщения*. 2016;(4):79–87.

14. Прокопова М.В., Прокопов А.Ю., Жур В.Н. Исследование свойств лессовых просадочных грунтов Восточного Донбасса. В: *Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции «Транспорт: наука, образование, производство».* Ростов-на-Дону: Ростовский государственный университет путей сообщения; 2017. С. 354–358.

15. Prokopov A., Zhur V., Medvedev A. Application of the Cartographic Method of Research for the Detection of the Dangerous Zones of Mining Industrial Territories. In: *Proceedings of the 27th Russian-Polish-Slovak Seminar, Theoretical Foundation of Civil Engineering. MATEC Web of Conferences*. 2018;196:03009. https://doi.org/10.1051/matecconf/201819603009

16. Гиря Л.В., Белаш В.В., Хоренков С.В., Петров К.С. Контроль качества производства работ по закреплению грунтов основания с использованием метода георадиолокационного подповерхностного зондирования. *Инженерный вестник Дона.* 2013;27(4). URL: http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2056 (дата обращения: 12.06.2023).

17. Гапонов Д.А., Фоменко Л.Н., Шеремет Р.Д. Применение георадара для контроля качества закрепления грунтов. *Инженерный вестник Дона*. 2016;42(3). URL: http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2016/3724 (дата обращения: 12.06.2023).

18. Prokopov A., Prokopova M., Rubtsova Ya. The Experience of Strengthening Subsidence of the Soil under the Existing Building in the City of Rostov-on-Don. In: *Proceedings of the International Science Conference "Smart City" (SPBWOSCE 2016). MATEC Web of Conferences*. St. Petersburg: EDP Sciences Publ.; 2017. P. 02001. https://doi.org/10.1051/matecconf/201710602001

19. Прокопов А.Ю., Сычев И.В. Определение деформационных характеристик грунтового массива, преобразованного по технологии армирования грунта цементно-песчаным раствором. *Инженерный вестник Дона*. 2019;54(3). URL: http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2019/5809 (дата обращения: 12.06.2023).

References

1. Osipov VI, Anikeev AV, Burova VN, Kozlyakova IV, Postoev GP, Eremina ON, et al. *Geologicheskii risk urbanizirovannykh territorii.* Monograph. Moscow: RUDN University Publ.; 2020. 312 p. (In Russ.).

2. Osipov VI, Karpenko FS, Rumyantseva NA. Active Porosity and its Influence on Physico-Mechanical Properties of Clay. *Geoekologiya. Inzhenernaya Geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya*. 2014;(3):262–269. (In Russ.). URL: https://nau-karus.com/aktivnaya-poristost-i-ee-vliyanie-na-fiziko-mehanicheskie-svoystva-glinistyh-gruntov (accessed: 12.06.2023).

3. Osipov VI. Density of clay minerals. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 2012;48(6):231–240. https://doi.org/10.1007/s11204-012-9153-0

4. Trofimov VT. The Experience of Bored Ground Piles System Creation as an Effective Method of Deep Strengthening of Subsidence Loess Soils Massif. *Engineering Geology World*. 2018;13(4–5):120–122. (In Russ.).

5. Anan'ev VP. Lessovye porody i inzhenernaya geologiya. *Izvestiya Rostovskogo gosudarstvennogo stroitel'nogo universiteta*. 2011;(15):36-40. (In Russ.)

6. Anan'ev VP, Potapov AD, Fil'kin NA. *Special Engineering Geology*. Moscow: INFRA-M Publ.; 2016. 263 p. (In Russ.).

7. Mangushev RA, Osokin AI, Usmanov RA. *Ustroistvo i Rekonstruktsiya Osnovanii i Fundamentov na Slabykh i Strukturno-Neustoichivykh Gruntakh.* Monograph. Saint Petersburg: Lan' Publ.; 2021. 460 p. (In Russ.). URL: https://reader.lanbook.com/book/171863?demoKey=167bac60ad16c29a83a26c6b02ef6ff5#2 (accessed: 12.06.2023).

8. Galai BF, Serbin VV, Galai OB. Collapsing Soil Compaction Experience in North Caucasus. *Geotechnics*. 2018;10(5–6):42–50. URL: https://www.geomark.ru/articles/opyt-uplotneniya-prosadochnykh-gruntov (In Russ.).

9. Cherkasov SM. Calculation of the Amount of Deformation of Loess Subsiding Soils under Own Weight and Its Comparison With Experimental Work Results. *Nauchnoe obozrenie*. 2014;11(3):746–749. (In Russ.).

10. Dolzhikov P, Prokopov A, Akopyan V. Foundation Deformations Modeling in Underworking and Hydroactivated Rocks. In: *Proceedings of the International Scientific Conference Energy Management of Municipal Transportation Facilities and Transport EMMFT 2017. Series: Advances in Intelligent Systems and Computing*. Cham: Springer Publ.; 2018. P. 647–654. https://doi.org/10.1007/978-3-319-70987-1_69

11. Akopyan V, Akopyan A. Experimental and Theoretical Investigation of the Interaction of the Reinforced Concrete Screw Piles with the Surrounding Soil. In: *2nd International Conference on Industrial Engineering (ICIE-2016). Series: Procedia Engineering.* Amsterdam: Elsevier Publ.; 2016. 150. P. 2202–2207.

12. Zhur VN, Aleksandrov AP, Kulikov AS. Analysis of Subsidence Processes During Compression Compression of Clay Soils in the Rostov Region and the Republic of Kalmykia. *Engineering Journal of Don.* 2021;73(1):260-270. (In Russ.). URL: http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2021/6801 (accessed:12.06.2023).

13. Prokopova MV, Prokopov AYu, Zhur VN. Usilenie prosadochnykh gruntov pod sushchestvuyushchei zastroi-koi g. Rostova-na-Donu. *Trudy Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putei soobshcheniya*. 2016;(4):79–87. (In Russ.).

14. Prokopova MV, Prokopov AYu, Zhur VN. Investigation of the Properties of Less Surface Grounds of the Eastern Donbass. In: *Proceedings of the International Science and Practical Conference "Transport: Science, Education, Production"*. Rostov-on-Don: Rostov State Transport University; 2017. P. 354–358. (In Russ.).

15. Prokopov A, Zhur V, Medvedev A. Application of the Cartographic Method of Research for the Detection of the Dangerous Zones of Mining Industrial Territories. In: *Proceedings of the 27th Russian-Polish-Slovak Seminar, Theoretical Foundation of Civil Engineering. MATEC Web of Conferences*. 2018;196:03009. https://doi.org/10.1051/matecconf/201819603009

16. Girya LV, Belash VV, Khorenkov SV, Petrov KS. Quality Control of the Production Work on the Consolidation of Soil Foundation Using the GPR Subsurface Sensing. *Engineering Journal of Don*. 2013;27(4). (In Russ.). URL: http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2056 (accessed: 12.06.2023).

17. Gaponov DA, Fomenko LN, Sheremet RD. The Use of Georadar in Quality Control of Soil Stabilization. (In Russ.). URL: http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2016/3724 *Engineering Journal of Don.* 2016;42(3). (accessed: 12.06.2023).

18. Prokopov A, Prokopova M, Rubtsova Ya. The Experience of Strengthening Subsidence of the Soil under the Existing Building in the City of Rostov-on-Don. In: *Proceedings of the International Science Conference "Smart City" (SPBWOSCE 2016). MATEC Web of Conferences*. St. Petersburg: EDP Sciences Publ.; 2017. P. 02001. https://doi.org/10.1051/matecconf/201710602001

19. Prokopov A.Yu, Sychev IV. Determination of the Deformation Characteristics of the Soil Massif, Transformed According to the Technology of Soil Reinforcement with Cement-sand Mortar. *Engineering Journal of Don*. 2019;54(3). (In Russ.). URL: http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2019/5809 (accessed: 12.06.2023).

Поступила в редакцию 28.07.2023
Поступила после рецензирования 05.08.2023
Принята к публикации 19.08.2023

Об авторах:

Прокопов Альберт Юрьевич, заведующий кафедрой «Инженерная геология, основания и фундаменты» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), доктор технических наук, профессор, ScopusID, ResearcherID, ORCID, prokopov72@rambler.ru.

Сычев Илья Владимирович, старший преподаватель кафедры «Инженерная геология, основания и фундаменты» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), ScopusID, ResearcherID, ORCID, ilya.sychev88@gmail.com.

Рязанцева Анастасия Владимировна, магистрант кафедры «Инженерная геология, основания и фундаменты» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), ORCID, anastasiya.razinkova@mail.ru.

Заявленный вклад соавторов:

А.Ю. Прокопов — формирование основной концепции, анализ нормативных методик в области проектирования, строительства и эксплуатации зданий на просадочных грунтах, постановка и проведение численного эксперимента, обработка результатов полевых испытаний, формулировка выводов.

И.В. Сычев — разработка экспериментального устройства для нагнетания раствора, контроля качества закрепления грунтов и измерения модуля деформации закрепленного массива, проведение штамповых испытаний закрепленных грунтов, геотехнический мониторинг осадок зданий на закрепленных грунтах, расчет модулей деформации по результатам экспериментов и мониторинга.

А.В. Рязанцева — обзор источников литературы, оформление графических материалов для статьи.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Received 28.07.2023
Revised 05.08.2023
Accepted 19.08.2023

About the Authors:

Albert Yu. Prokopov, Dr.Sci.(Engineering), Professor, Head of the Engineering Geology, Bases and Foundations Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), ScopusID, ResearcherID, ORCID, prokopov72@rambler.ru.

Ilya V. Sychev, Senior Lecturer of the Engineering Geology, Bases and Foundations Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), ScopusID, ResearcherID, ORCID, ilya.sychev88@gmail.com

Anastasiya V. Ryazantseva, Master Student of the Engineering Geology, Bases and Foundations Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), ORCID, anastasiya.razinkova@mail.ru.

Claimed contributorship:

AYu Prokopov — formulating the main concept, analysis of the normative methodology referring to the buildings design, construction and operation on the subsiding soils, setting up and conducting the numerical experiment, processing the results of field tests, formulating the conclusions.

IV Sychev — designing the experimental device for mortar injection, quality control of soil stabilisation and the stabilised soil mass deformation modulus measurement, carrying out the plate load tests of the stabilised soils, geotechnical monitoring of the buildings subsidence on the stabilised soils, calculating the deformation moduli according to the experiment and monitoring results.

AV Ryazantseva — review of literature sources, article graphic materials design.

Conflict of interest statement: the authors do not have any conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.




УДК 639.54

Научная статья

https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-3-31-39



Некоторые технологические параметры устройства рабочих швов при применении самоуплотняющихся бетонных смесей

Г.В. Несветаев[1] ✉, Ю.И. Корянова[1], Д.П. Сухин[2]

[1] Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация
[2] ООО «Дон-Кубань Строй», г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

✉ nesgrin@yandex.ru

Аннотация
Введение. При возведении массивных монолитных железобетонных конструкций, разбитых в соответствии с требованиями норм на температурно-усадочные блоки, важным условием обеспечения монолитности является качество рабочих швов при сцеплении «старого» и «нового» бетона. В связи с недостаточным объемом публикаций по вопросу зависимости прочности сцепления от технологических параметров при устройстве рабочих швов с применением широко используемых в последние годы самоуплотняющихся бетонов, исследования в данной области представляют актуальную задачу. Целью работы является развитие научных представлений о влиянии некоторых технологических параметров при устройстве рабочих швов на прочность сцепления «старого» и «нового» бетона.
Материалы и методы. Исследования выполнены с использованием самоуплотняющихся и традиционных тяжелых бетонов вибрационного уплотнения с диапазоном прочности на сжатие от 34,5 до 69,2 МПа. Предмет исследования — прочность сцепления «старого» и «нового» бетона в зависимости от способа подготовки поверхности «старого» бетона в шве в соответствии с нормативными требованиями и класса «нового» самоуплотняющегося бетона по прочности на сжатие. В качестве основных образцов использованы составные образцы Мерша при возрасте «старого» бетона до 3 сут. В качестве критерия качества шва использована относительная прочность шва, представляющая соотношение предела прочности бетона на срез, определенного на составном образце Мерша, и минимального из пределов прочности «нового» и «старого» бетонов на осевое растяжение. Определение показателей качества бетона производилось по стандартным методикам. Выдерживание образцов осуществлялось в условиях, имитирующих производство работ в весенне-летний период.
Результаты исследования. В ходе исследования рассмотрены критерии качества шва при сцеплении «старого» и «нового» бетона и их изменения в зависимости от рассмотренных рецептурных (класс бетона) и технологических факторов (продолжительность технологического перерыва, способ подготовки поверхности). Получены зависимости предложенного критерия качества шва от предела прочности (класса) «нового» бетона на сжатие, и показана неэффективность обработки поверхности металлической щеткой, особенно с ростом продолжительности технологического перерыва. Требуемые показатели прочности сцепления для бетонов классов В25… В35 гарантированно обеспечиваются при подготовке поверхности фрезерованием, при этом повышение технологического перерыва негативно влияет на прочность сцепления.
Обсуждение и заключение. В связи с выявленной низкой обеспеченностью прочности сцепления «старого» и «нового» бетона независимо от технологических факторов целесообразно рассмотреть обеспечение качества рабочего шва посредством реализации конструктивных решений в виде шпоночных соединений и (или) дополнительного армирования.

Ключевые слова: массивные железобетонные конструкции, технологический перерыв, подготовка поверхности, прочность сцепления, прочность на срез

Для цитирования. Несветаев Г.В., Корянова Ю.И., Сухин Д.П. Некоторые технологические параметры устройства рабочих швов при применении самоуплотняющихся бетонных смесей. *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий*. 2023;2(3):31–39. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-3-31-39

Original article

Some Technological Parameters of Construction Joints Formation Using the Self-Compacting Concrete Mixtures

Grigory V. Nesvetaev[1] ✉, **Yuliya I. Koryanova**[1], **Dmitry P. Sukhin**[2]

[1] Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation
[2] "Don-Kuban' Stroi", LLC, Rostov-on-Don, Russian Federation

✉ nesgrin@yandex.ru

Abstract

Introduction. The important condition ensuring the monolithicity of the erected massive monolithic reinforced concrete structures, divided in compliance with the standards into the heat-shrinkable blocks, is the quality of construction joints in terms of the new-to-old concrete bonding. The research on the bonding strength dependence on the technological parameters of the construction joints formation using the widely spread in recent years self-compacting concretes is a relevant task, because the number of publications on the respective topic is insufficient. The aim of the present paper is to develop a scientific concept regarding the influence of the certain technological parameters on the new-to-old concrete bonding strength during the construction joints formation.

Materials and Methods. The research was carried out using the self-compacting and ordinary heavy vibratory-compacted concretes with the compressive strength ranged from 34.5 to 69.2 MPa. The object of the study was the dependence of the new-to-old concrete bonding strength on the method of standardised surface pre-treatment of the "old" concrete in a joint and the compressive strength of the grade of the "new" self-compacting concrete. The composite Mörsch specimens in which the "old" concrete was cured for up to 3 days were used as the main samples. The construction joint relative strength was considered to be the joint quality evaluation criterion equalling to the ratio of the shear strength of concrete in a composite Mörsch specimen to the minimum axial tension strength values of the "new" and "old" concrete. The quality indicators of the concrete were determined by applying the standard methodology. The specimens were cured under conditions simulating the production of works in the spring-summer season.

Results. During the research, the construction joint quality criteria in terms of the "old" to "new" concrete bonding were analysed along with the changes they undergo depending on the studied recipe (concrete grade) and technological (length of the technological break, surface treatment method) factors. The dependences of the proposed construction joint quality criterion on the "new" concrete compressive strength (grade) were obtained and the inefficiency of the surface treatment with a metal brush was shown, especially if accompanied with the technological break extension. The required bonding strength values for B25 ... B35 grade concretes can be for sure provided by the surface pre-milling, whereas the extension of the technological break has negative affect on the bonding strength.

Discussion and Conclusions. Due to the revealed low bonding strength of the "old" to "new" concretes, regardless the technological factors, it is expedient to look into the ways of ensuring the construction joint quality by implementing structural solutions such as keyed joints and (or) additional reinforcement.

Keywords: massive reinforced concrete structures, technological break, surface treatment, bonding strength, shear strength

For citation. Nesvetaev GV, Koryanova YI, Sukhin DP. Some Technological Parameters of Construction Joints Formation Using the Self-Compacting Concrete Mixtures. *Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning*. 2023;2(3):31–39. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-3-31-39

Введение. При возведении монолитных железобетонных конструкций одним из важнейших условий является обеспечение их монолитности, в связи с чем согласно СП 435.1325800.2018 «бетонная смесь должна укладываться в бетонируемую конструкцию горизонтально слоями одинаковой толщины без разрывов, с последовательным направлением укладки в одну сторону во всех слоях. Новый слой бетонной смеси должен быть

уложен до начала схватывания бетона ранее уложенного слоя. При массиве, разбитом на блоки, бетонирование замыкающих блоков следует проводить только после усадки и охлаждения бетона смыкаемых блоков». Возведение монолитных конструкций осуществляется как посредством непрерывной укладки бетонной смеси, так и с перерывами различной продолжительности, в т. ч. с образованием рабочих швов. При значительной продолжительности перерыва и при бетонировании массивных монолитных железобетонных конструкций с разбиением на температурно-усадочные блоки при разработке технологических регламентов бетонирования приходится решать вопросы устройства рабочих швов, как горизонтальных, так и вертикальных [1, 2]. В [2] рассматриваются варианты бетонирования с интервалом укладки бетонной смеси до 3 часов, в пределах 12 часов и более 12 часов. Отмечается, что СП 70.13330.2012 рекомендует при возведении фундамента выполнять укладку бетонной смеси с образованием холодного шва. В [3] представлены результаты исследований прочности технологического шва в зависимости от времени и вида бетона, согласно которым «прочность стыка, который был выполнен через 1 сутки, значительно ниже, чем соединения, выполненного в 28-суточном возрасте». В [4] обосновывается целесообразность устройства технологических швов по технологии замоноличивания стыков сборных железобетонных конструкций. В [2] отмечается, что «при укладке бетонной смеси в массивные фундаментные плиты согласно типовым технологическим картам» должна обеспечиваться «непрерывность укладки на всю высоту плит». По данным [5] при применении самоуплотняющихся бетонных смесей (СУБ) с суперпластифицирующими добавками (далее — СП) на основе эфиров поликарбоксилатов при низких значениях величины водоцементного отношения (далее — В/Ц) в условиях пониженной влажности отмечен процесс быстрого формирования «слоновой кожи» — слоя толщиной от 50 до 500 мкм, свойства которого значительно отличаются от основного объема цементного камня, который может стать причиной нарушения сцепления «старого» и «нового» бетонов при устройстве рабочих швов. Проблема является актуальной не только для монолитных, но и для сборно-монолитных конструкций [6].

Исследователи отмечают важную роль подготовки поверхности «старого» бетона при устройстве рабочего шва для обеспечения качественного сцепления [2, 7, 8], при этом даже при качественной обработке рабочего шва его прочность по отношению к монолиту обычно составляет 50–60 %. По данным [7] при применении различных способов подготовки поверхности (в зависимости от способа уплотнения) различие в прочности сцепления может составлять 50 %, при этом применение современных суперпластификаторов способствует росту прочности контакта. Согласно [8] прочность «старого» бетона практически не влияет на прочность «контактного шва». Учитывая широкое применение и связанные с этим исследования СУБ, полученных с применением СП на поликарбоксилатной основе [9, 10], а также ограниченность данных о прочности рабочих швов при применении СУБ [11], исследование технологических параметров, определяющих прочность сцепления указанных бетонов при устройстве рабочих швов с применением различных бетонов, представляет актуальную задачу, решение которой является целью данной работы.

Материалы и методы. Исследования выполнены на тяжелых бетонах, полученных из СУБ с величиной В/Ц 0,55 и 0,4, содержащих СП отечественного производства на основе эфиров поликарбоксилатов. Портландцемент — ЦЕМ I 42,5Н ОАО «Новоросцемент». Подвижность СУБ соответствовала марке РК1 по ГОСТ Р 59714-2021. Диапазон предела прочности на сжатие исследованных бетонов в проектном возрасте при твердении в НУ составил от 34,5 (*В*27,5 по схеме Г ГОСТ 18105) до 69,2 МПа (*В*55). При оценке прочности рабочего шва использован составной образец Мерша (рис. 1), широко применяемый для подобных исследований [4, 12]. При изготовлении составного образца на первом этапе крайние кубы («старый» бетон — «СБ» на рис. 1) фиксировались пластиковыми перегородками. Через 1 либо 3 сут. кубы поворачивались на 90° так, чтобы верхняя грань контактировала с вновь укладываемой бетонной смесью, и осуществлялась укладка «нового» бетона («НБ» на рис. 1). При этом перед укладкой «нового» бетона верхняя грань кубов обрабатывалась в соответствии с планом исследований. Определение пределов прочности бетонов на сжатие и осевое растяжение и прочности сцепления «старого» и «нового» бетонов с использованием составного образца производилось при возрасте «нового» бетона 28 сут.

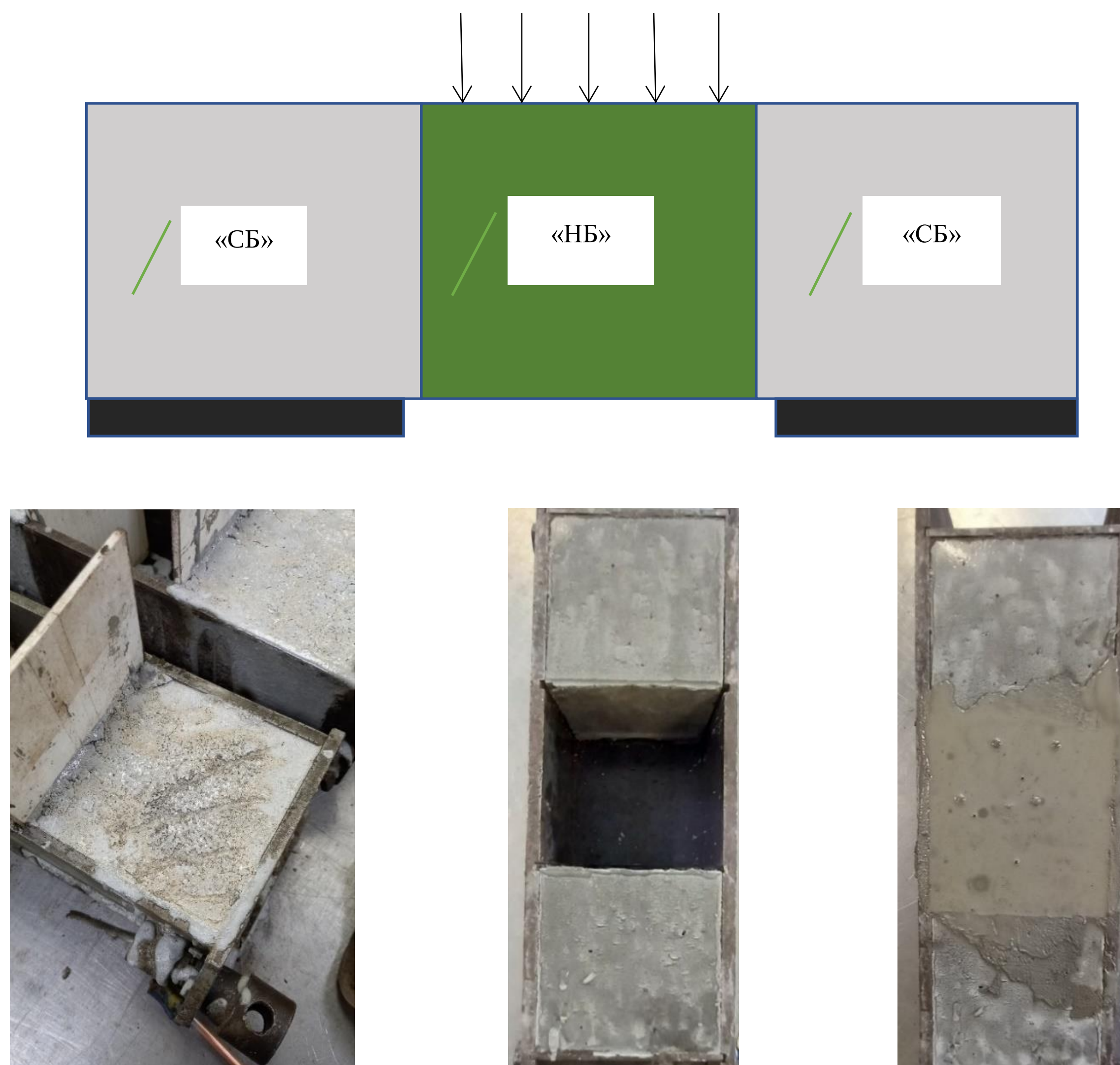


Рис. 1. Схема испытания и этапы изготовления составного образца Мерша

Результаты исследования. В таблице 1 представлены результаты определения прочности контакта «старого» и «нового» бетонов при устройстве рабочего шва в различном возрасте и при различных способах обработки поверхности «старого» бетона.

Согласно формуле № 8.61 СП 63.13330.2018 поперечная сила, воспринимаемая бетоном в нормальном сечении от внешней нагрузки, может быть определена как:

$$Q_{b1} = 0{,}5 \cdot R_{bt} \cdot b \cdot h_0, \tag{1}$$

тогда принимая прочность бетона на срез:

$$R_{sh} = \frac{Q_{b1}}{b \cdot h_0}. \tag{2}$$

Получим:

$$R_{sh} > 0{,}5 \cdot R_{bt} \tag{3}$$

или

$$\frac{R_{sh}}{R_{bt}} > 0{,}5, \tag{4}$$

что можно рассматривать в качестве некоторого критерия прочности рабочего шва или в зависимости от класса бетона:

$$R_{sh} > \left(\frac{0{,}5}{1{,}5}\right) \cdot R_t \approx 0{,}1 \cdot R^{0{,}6} = 0{,}114 \cdot B^{0{,}6}, \tag{5}$$

где R_{bt} — класс бетона по прочности на осевое растяжение; R_t — среднее контролируемое значение предела прочности бетона на осевое растяжение, $R_t = 1{,}5 \cdot R_{bt}$, $R_t = 0{,}29 \cdot R^{0{,}6}$; R — среднее контролируемое значение предела прочности на сжатие; B — класс бетона по прочности на сжатие.

Таблица 1

Результаты определения прочности контакта «старого» и «нового» бетона (прочность на срез R_{sh})

№	Предел прочности бетона, МПа		Прочность на срез, МПа, в зависимости от подготовки поверхности				
	R	R_t	БП	Щ	Ф	ОП–5***	НД****
Данные авторов							
1	32,3	2,35	1,01 (1)	3,54 (1)	2,74 (1)		
2	43,6	2,8	1,18 (3)	2,1 (3)	3,65 (3)		
3	56,9	2,96	0,26 (3)	0,53 (3)	1,78 (3)		
4	35,4	2,54	0,07 (1)	2,62 (1)	3,66 (1)		
5	65,7	3,2	0,55 (3)	0,29 (3)	3,5 (3)		
6	66,2	2,96	0,65 (1)	0,71 (1)	2,23 (1)		
7	48,1	2,72	0,38 (1)				
По литературным данным							
8	26,9	2,09*					1,54
9	38,3	2,58*					1,75
10	32,7	2,35*					1,67
11	21,3	1,59	0,89**				
12	21,2	1,62	0,76**				
13	17,6	1,38	0,935**				
14	25,1	1,94	0,75**				
15	19,2	1,74	0,71**				
16	31	2,27*				1,45	
17	35	2,45*				2,2	
18	25,4	2,02*					1,4
19	42,4	2,75*					1,2
20	23,4	1,92*					0,95

Примечания:

БП, Щ, Ф — соответственно без обработки поверхности, обработка металлической щеткой, фрезерование;

(1), (3) — возраст «старого» бетона к моменту бетонирования шва, сут.;

* — по формуле $R_t = 0{,}29 \cdot R^{0{,}6}$ (R_t, R — соответственно предел прочности бетона на осевое растяжение и сжатие) [13];

** — к боковой поверхности «старого» бетона;

*** — обработка по [8];

8–10 — данные [4], 11–15 — данные [14], 16–17 — данные [8], 18–20 — данные [15];

**** — нет данных.

На рис. 2 представлена зависимость относительной прочности шва R_{sh}/R_t от предела прочности «нового» бетона на сжатие и способа обработки поверхности «старого» бетона. Очевидна неоднозначность зависимости $R_{sh}/R_t = f(R)$ от рассматриваемых факторов. Уравнения регрессии с показателем достоверности аппроксимации представлены в таблице 2. В таблице 3 представлены значения R_{sh}/R_{bt} в зависимости от класса «нового» бетона» по прочности на сжатие B, способа подготовки поверхности «старого» бетона и времени устройства шва. Данные таблицы 3 хорошо согласуются с [8].

Таблица 2

Уравнения регрессии, описывающие данные, представленные на рис. 2

№	Условия формирования шва	$\frac{R_{sh}}{R_t} = k \cdot (R)$	Показатель достоверности аппроксимации R^2	$R_{sh}/R_t = k \cdot (B)$ *
1	Без обработки через 1 сут.	k = 0,004	0,573	k = 0,005
2	Обработка щеткой через 1 сут.	k = 0,015	0,451	k = 0,019
3	Обработка диском через 1 сут.	k = 0,021	0,718	k = 0,026
4	Без обработки через 3 сут.	k = 0,004	0,592	k = 0,005
5	Обработка щеткой через 3 сут.	k = 0,005	0,419	k = 0,007
6	Обработка диском через 3 сут.	k = 0,018	0,862	k = 0,022
7	ОП-5 по таблице 1	k = 0,023	0,989	k = 0,069

Примечание: * — $B = 0{,}8 \cdot R$

Таблица 3

Влияние способа подготовки поверхности и времени устройства шва на величину R_{sh}/R_{bt}

Класс бетона	Величина R_{sh}/R_{bt} при устройстве шва в возрасте 1, 3 сут. При различных способах подготовки поверхности					
	БП		Щ		Ф	
	1	3	1	3	1	3
В20	0,1	0,1	0,38	0,14	0,52	0,44
В25	0,125	0,125	0,475	0,175	0,65	0,55
В30	0,15	0,15	0,57	0,21	0,78	0,66
В35	0,175	0,175	0,665	0,245	0,91	0,77

Примечание: БП, Щ, Ф — соответственно без подготовки поверхности, обработка металлической щеткой и фрезерование.

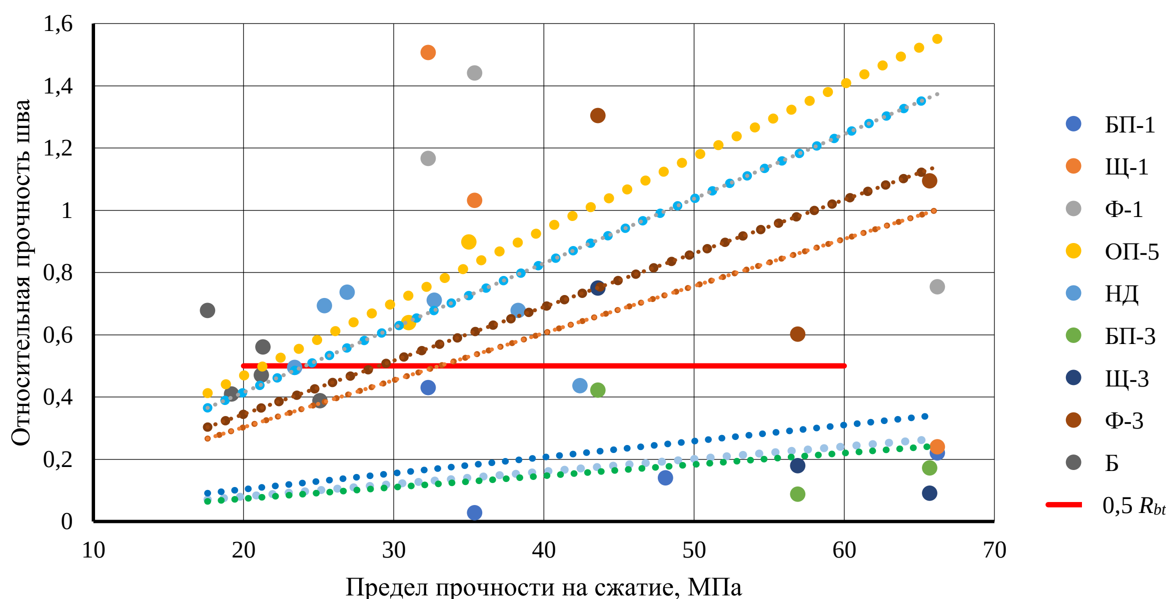


Рис. 2. Зависимость относительной прочности шва от предела прочности «нового» бетона на сжатие: БП-1, Щ-1, Ф-1, БП-3, Щ-3, Ф-3 — соответственно без обработки поверхности, обработка металлической щеткой, фрезерование; 1, 3 — возраст «старого» бетона к моменту бетонирования шва, сут.; Б — без обработки поверхности, контакт с боковой гранью; ОП-5 — очистка поверхности до заполнителя глубиной до 5 мм, устройство насечек глубиной до 5 мм с шагом не менее 40 мм; НД — неизвестно

Представленные на рис. 2 и в таблицах 2 и 3 результаты показывают, что:

– единичные значения показателя R_{sh}/R_t (относительная прочность шва) характеризуются довольно высокой неоднородностью, что можно рассматривать как низкую обеспеченность качества шва независимо от технологических факторов;

– обработка металлической щеткой с ростом возраста «старого» бетона закономерно становится неэффективной;

– критерий формул (4, 5) обеспечивается при подготовке поверхности фрезерованием, при этом повышение возраста «старого» бетона не способствует росту прочности сцепления.

Обсуждение и заключение. Получена зависимость соотношения прочности сцепления «старого» и «нового» бетона в рабочих швах от класса «нового» бетона по прочности на сжатие, способа подготовки поверхности «старого» бетона и времени устройства шва. Поскольку единичные значения соотношения прочности сцепления характеризуются довольно высокой неоднородностью, что можно рассматривать как низкую обеспеченность качества шва независимо от технологических факторов, целесообразно исследовать возможность повышения надежности рабочих швов конструктивными мероприятиями (например, устройство шпонок и (или) дополнительное армирование), при этом выбор решения следует принимать по технико-экономическим показателям. Критерием качества сцепления предложен показатель R_{sh}/R_t, значения которого при применении СУБ для «нового» бетона составляют, в зависимости от способа обработки поверхности «старого» бетона, от 0,1 до 0,9 при предлагаемом нормируемом значении не менее 0,5, что обеспечивается при классе СУБ В25… В35 фрезерованием поверхности «старого» бетона. Рост продолжительности технологического перерыва негативно влияет на прочность сцепления.

Список литературы

1. Шпилевская Н.Л., Шведов А.П. Особенности возведения массивных фундаментов с учетом различных факторов, влияющих на беспрерывное производство работ. В: *Актуальные проблемы архитектуры Белорусского Подвинья и сопредельных регионов: Сборник научных работ Международной научно-практической конференции к 50-летию Полоцкого государственного университета.* Новополоцк: Учреждение образования «Полоцкий государственный университет»; 2018. С. 238–244.
2. Шпилевская Н.Л., Шведов А.П. Разработка организационно-технологической документации на бетонирование массивных фундаментных плит. *Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки.* 2018;(8):49–55. URL: https://journals.psu.by/constructions/article/view/233 (дата обращения: 05.08.2023).
3. Каган М.Н., Коволь С.Б., Мельник Л.Б., Байбурин А.Х. Прочность контакта бетонов при устройстве технологических швов и стыков в железобетонных конструкциях. *Строительное производство.* 2021(3):9–18. https://doi.org/10.54950/26585340_2021_3_2
4. Каган, М.Н., Коваль С.Б. Влияние технологических факторов на прочность бетона в зоне контакта свежеуложенного слоя с затвердевшим. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура.* 2022;22(2):68–74. https://doi.org/10.14529/build220209
5. Wetzel A., Glotzbach C. Microstructural characterization of elephant skin on ultra-high-performance concrete. In: *14th Euroseminar on Microscopy Applied to Building Materials*; 2013. P. 1–4. https://doi.org/10.13140/2.1.4970.1123
6. Коянкин, А.А., Митасов В.М. О применимости двучленного закона трения Дерягина к вопросам совместного деформирования разновозрастных бетонов в сборно-монолитных конструкциях. *Инженерный вестник Дона.* 2021;(9). URL: http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n9y2021/7177 (дата обращения: 01.08.2023).
7. Кремнева Е.Г. О сопротивлении среза по контакту между бетонами, укладываемыми в разное время. В: *Архитектурно-строительный комплекс: проблемы, перспективы, инновации. Электронный сборник статей III Международной научной конференции.* Новополоцк: Учреждение образования «Полоцкий государственный университет»; 2021. С. 151–156. URL: https://elib.psu.by/handle/123456789/28116 (дата обращения: 04.08.2023).
8. Кремнева Е.Г., Хаменюк Е.В. Контактные швы в железобетонных составных конструкциях. *Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки.* 2011;(8):48–52.
9. Dey S., Kumar V.V., Goud K.R., Basha S.K. State of Art Review on Self-compacting Concrete Using Mineral Admixtures. *Journal of Building Pathology and Rehabilitation*. 2021;6(1):1–23. https://doi.org/10.1007/s41024-021-00110-9
10. Dhanabal G., Sreevidya D.V. Shear Strength Characteristics of Self Compacting Geopolymer Concrete Cast at Different Ages. *International Journal of Latest Engineering and Management Research*. 2018;3(4):38–43. Available from: http://www.ijlemr.com/papers/volume3-issue4/7-IJLMER-33107.pdf (дата обращения: 05.08.2023).
11. Zhang X., Zhang W., Luo Y., Wang L., Peng J., Zhang J. Interface Shear Strength between Self-Compacting Concrete and Carbonated Concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2020;32(6). https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003229
12. Dovzhenko O.O., Pohribnyi V.V., Usenko I.S., Mal'ovana O.O., Akopyan M.K. Concrete Elements Strength Under the Shear Action According to The Variation Method in the Theory of Plasticity and Tests. *ISJ Theoretical & Applied Science*. 2016;12(44):12–18. https://dx.doi.org/10.15863/TAS.2016.12.44.3
13. Корянова Ю.И., Несветаев Г.В., Чепурненко А.С., Сухин Д.П. К вопросу моделирования температурных напряжений при бетонировании массивных железобетонных плит. *Инженерный вестник Дона.* 2022;(6). URL: http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2022/7691 (дата обращения 22.07.2023).
14. Несветаев Г.В., Беляев А.В. О сцеплении конструкционного керамзитобетона и тяжелого бетона в монолитных слоистых перекрытиях. *Науковедение.* 2016;8(4). URL: http://naukovedenie.ru/PDF/24TVN416.pdf (дата обращения: 01.08.2023).
15. Дорофеев В.С., Дорофеев А.В., Пушкарь Н.В. Прочность контактов сборно-монолитных железобетонных конструкций реконструируемых портовых сооружений. *Актуальные научные исследования в современном мире.* 2019;11–1(55):93–103. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_41808530_15571114.pdf (дата обращения: 05.08.2023).

References

1. Shpilevskaya NL, Shvedov AP. Features of Building Massive Foundations with Considering of Different Factors Affecting Continuous Production of Work. In: *Aktual'nye problemy arkhitektury Belorusskogo Podvin'ya i sopredel'nykh regionov: collection of scientific papers of the international scientific and practical conference in honour of 50th anniversary of the State University of Polotsk.* Novopolotsk: Uchrezhdenie obrazovaniya "Polotskii gosudarstvennyi universitet" Publ.; 2018. P. 238–244. (In Russ.)

2. Shpilevskaya NL, Shvedov AP. Development of Organizational-Technological Documentation on Concreting Of Massive Fundamental Slabs. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya F. Stroitel'stvo. Prikladnye nauki Vestnik*. 2018;(8):49–55. (In Russ.) URL: https://journals.psu.by/constructions/article/view/233 (accessed: 05.08.2023).

3. Kagan MN, Koval' SB, Mel'nik LB, Baiburin AK. The Strength of Concrete-to-Concrete Contact During the Construction of Technological Seams and Joints in Reinforced Concrete Structures. *Construction production*. 2021;(3): 9–18. https://doi.org/10.54950/26585340_2021_3_2

4. Kagan MN, Koval' SB. Influence of Technological Factors on the Strength of Concrete in the Contact Zone of a New-to-Old Concrete Bonding. *Bulletin of South Ural State University. Series «Construction Engineering and Architecture*. 2022;22(2):68–74. https://doi.org/10.14529/build220209

5. Wetzel A, Glotzbach C. *Microstructural characterization of elephant skin on ultra-high-performance concrete*. In: 14th Euroseminar on Microscopy Applied to Building Materials; 2013. P. 1–4. doi.org/10.13140/2.1.4970.1123

6. Koyankin AA, Mitasov VM. On the Applicability of Deryagin's Binomial Law of Friction to the Issues of Joint Deformation of Mixed-Age Concrete in Prefabricated Monolithic Structures. *Engineering Journal of Don*. 2021;(9). (In Russ.) URL: http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n9y2021/7177 (accessed: 1.08.2023).

7. Kremneva EG. About the Shear Resistance Between Concretes, Stacked at Different Times. In: *Arkhitekturno-stroitel'nyj kompleks: problemy, perspektivy, innovacii. Electronic digest of articles of the 3d International scientific conference*. Novopolotsk: Uchrezhdenie obrazovaniya “Polotskii gosudarstvennyi universitet” Publ.; 2021. P. 151–156. (In Russ.) URL: https://elib.psu.by/handle/123456789/28116 (accessed: 4.08.2023).

8. Kremneva EG, Khamenok EV. Contact Seams in Reinforced Concrete Composite Structures. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya F. Stroitel'stvo. Prikladnye nauki Vestnik*. 2011;(8):48–52. (In Russ.)

9. Dey S, Kumar VV, Goud KR, Basha SK. State of Art Review on Self-compacting Concrete Using Mineral Admixtures. *Journal of Building Pathology and Rehabilitation*. 2021;6(1):1–23. http://www.doi.org/10.1007/s41024-021-00110-9

10. Dhanabal G, Sreevidya DV. Shear Strength Characteristics of Self Compacting Geopolymer Concrete Cast at Different Ages. *International Journal of Latest Engineering and Management Research*. 2018;3(4):38–43. Available from: http://www.ijlemr.com/papers/volume3-issue4/7-IJLMER-33107.pdf (accessed: 05.08.2023).

11. Zhang X., Zhang W., Luo Y., Wang L., Peng J., Zhang J. Interface Shear Strength between Self-Compacting Concrete and Carbonated Concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2020;32(6). https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003229

12. Dovzhenko O.O., Pohribnyi V.V., Usenko I.S., Mal’ovana O.O., Akopyan M.K. Concrete Elements Strength Under the Shear Action According to The Variation Method in the Theory of Plasticity and Tests. *ISJ Theoretical & Applied Science*. 2016;12(44):12–18. https://dx.doi.org/10.15863/TAS.2016.12.44.3

13. Koryanova YI, Nesvetaev GV, Chepurnenko AS, Sukhin DP. On the Issue of Modeling Thermal Stresses during Concreting of Massive ReinforcedConcrete Slabs. *Engineering Journal of Don*. 2022;(6). (In Russ.) URL: http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2022/7691 (accessed: 22.07.2023).

14. Nesvetaev GV, Belyaev AV. About Adhesion Between Structural LWA Concrete and Ordinary Concrete in the In-Situ Layered Slabs. *Naukovedenie*. 2016;8 (4). (In Russ.) URL: http://naukovedenie.ru/PDF/24TVN416.pdf (accessed: 01.08.2023).

15. Dorofeev VS, Dorofeev AV, Pushkar' NV. The Durability of Contacts of Prefabricated Monolithic Reinforced Concrete Structures of Reconstructed Port Structures. *Aktual'nye nauchnye issledovaniya v sovremennom mire*. 2019;11–1(55):93–103. (In Russ.) https://www.elibrary.ru/download/elibrary_41808530_15571114.pdf (accessed: 05.08.2023).

Поступила в редакцию 12.08.2023
Поступила после рецензирования 25.08.2023
Принята к публикации 10.09.2023

Об авторах:

Несветаев Григорий Васильевич, профессор кафедры «Технология строительного производства» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), доктор технических наук, профессор, ORCID, nesgrin@yandex.ru

Корянова Юлия Игоревна, доцент кафедры «Технология строительного производства» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, ORCID, koryanova.yi@mail.ru

Сухин Дмитрий Петрович, директор ООО «Дон-Кубань Строй» (344002, РФ, г. Ростов-на-Дону, ул. Станиславского, 59/64, оф. 25), ORCID, 161dks@mail.ru

Заявленный вклад соавторов:

Г.В. Несветаев — формирование основной концепции, цели и задач исследования, обоснование критериев, общее планирование эксперимента, анализ результатов исследований, редактирование текста, корректировка выводов.

Ю.И. Корянова — детальное планирование, организация и реализация исследований, анализ результатов исследований, подготовка текста, формулировка выводов.

Д.П. Сухин — рабочее планирование и реализация исследований, обработка результатов исследований, анализ результатов исследований.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи

Received 12.08.2023
Revised 25.08.2023
Accepted 10.09.2023

About the Authors:

Grigory V. Nesvetaev, Professor of the Construction Operations Technologies Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), Dr.Sci. (Engineering), Professor, ORCID, nesgrin@yandex.ru

Yuliya I. Koryanova, Associate Professor of the Construction Operations Technologies Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF)**,** Cand. Sci. (Engineering), ScopusID, ORCID, koryanova.yi@mail.ru

Dmitry P. Sukhin, Director of “Don-Kuban' Stroi”, LLC (Office 25, 59/64, Stanislavskii St., Rostov-on-Don, 344002, RF), ORCID, 161dks@mail.ru

Claimed contributorship:

GV Nesvetaev — designing the main concept, goals and objectives of the study, justification of the criteria, general planning of the experiment, research results analysis, editing the text, correcting the conclusions.

YI Koryanova — detailed planning, organisation and implementation of research, research results analysis, preparing the text, formulating the conclusions.

DP Sukhin — operational planning and implementation of research, processing of research results, research results analysis.

Conflict of interest statement: the authors do not have any conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.





Научная статья



УДК 624.131.37:622.257.1

https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-3-40-48

Комплексный подход в изучении тампонажа гидроактивизированных грунтов оснований фундаментов

П.Н. Должиков ✉, **В.М. Талалаева**

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

✉ dolpn@yandex.ru

Аннотация

Введение. Широкомасштабное закрытие угольных шахт методом «мокрой» консервации привело к необратимым изменениям в подработанном породном массиве. Прежде всего, произошли подъем уровня шахтных вод и гидроактивизация грунтов оснований фундаментов зданий, что вызвало новые геодинамические эффекты и аварийные деформации зданий. Поэтому необходимо выполнение реконструкции оснований фундаментов зданий на подработанных территориях. Перспективным направлением тампонажа грунтов для этих условий является высоконапорная инъекция вязкопластичных растворов в режиме гидрорасчленения. Цель работы — исследование параметров тампонажа и степени упрочнения гидроактивизированных грунтов на подработанных территориях.

Материалы и методы. Выполнение исследований проводилось на натурных образцах горных пород и с использованием их физико-механических и деформационно-прочностных свойств. Комплексный подход к исследованиям предусматривал изучение инженерно-геологических условий, технологических параметров тампонажа пород и качества закрепления и водоизоляции гидроактивизированных грунтов.

Результаты исследования. В соответствии с комплексной методикой исследований на первом этапе был выполнен инженерно-геологический и горнотехнический анализ подработанных площадей и обоснована геоструктурная типизация территорий Шахтинско-Несветаевского района в зависимости от мощности покровных отложений.

На втором этапе аналитически установлены параметры формирования тампонажной подушки на контакте с коренными породами. А для дисперсных разуплотненных пород эмпирио-аналитически установлены закономерности и степень фильтрационной консолидации путем инъекции вязкопластичного раствора. Методом компьютерного и физического моделирования для трех геоструктурных типов получены закономерности деформирования грунтов оснований до и после тампонажа.

На третьем этапе проведены натурные исследования параметров и качества тампонажа при реконструкции оснований фундаментов двух зданий в г. Шахты. Доказано, что тампонаж гидроактивизированных грунтов увеличивает их прочность до 0,4 МПа и снижает деформации основания в 2–2,5 раза.

Обсуждение и заключение. Применение комплексной методики в изучении тампонажа гидроактивизированных грунтов на подработанных территориях позволило обосновать технологические схемы и параметры упрочнения и гидроизоляции дисперсных и скальных трещиноватых пород. По результатам аналитических, компьютерных, лабораторных и натурных исследований установлены закономерности и степень изменения деформационно-прочностных свойств гидроактивизированных грунтов основания после тампонажа вязкопластичными растворами.

Ключевые слова: инженерная геология, типизация условий, технологические схемы, тампонаж, параметры, грунты основания, гидроактивизация, стабилизационная подушка, деформирование, прочность

Для цитирования. Должиков П.Н., Талалаева В.М. Комплексный подход в изучении тампонажа гидроактивизированных грунтов оснований фундаментов. *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий*. 2023;2(3):40–48. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-3-40-48

Original article

Study of Grouting in the Hydraulically Activated Subfoundation Soils Using the Comprehensive Approach

Petr N. Dolzhikov ✉, **Viktoria M. Talalaeva**

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

✉dolpn@yandex.ru

Abstract

Introduction. The large-scale "wet" closure of collieries had led to irreversible changes in the underworked rock mass. First of all, there took place the mine-water level rise and hydraulic activation of buildings' subfoundation soils, which induced the new geodynamic effects and hazardous deformations of buildings. Therefore, it is necessary to carry out the reconstruction of buildings' subfoundations on the underworked territories. Under these circumstances, the high-pressure jet grouting with viscoplastic grouts using the hydraulic fracturing is considered a highly-promising trend of soil grouting. The work aims at studying the parameters of grouting and the degree of consolidation of hydraulically activated soils on the underworked territories.

Materials and Methods. The research was carried out with the rock full scale specimens, taking into account their physical-mechanical and strain-strength properties. The comprehensive approach to research implied studying the geotechnical conditions and the technological parameters of rock grouting along with the quality of stabilisation and waterproofing of hydraulically activated soils.

Results. In accordance with the comprehensive research methodology, at the first stage, the geotechnical and mining-engineering analysis of the underworked territories were carried out and the geostructural typification of the Shakhtinsk-Nesvetaevsky district territories was substantiated depending on the thickness of the covering deposits.

At the second stage, the grout pad formation parameters at contact with the parent rocks were analytically determined. Moreover, for dispersive decompacted rocks the consistent patterns and the degree of filtration consolidation were established in the empirically-analytical way by viscoplastic grout injection. Using the computer and physical modeling method, the consistent patterns of subfoundation soils deformation before and after grouting were obtained for three geostructural types.

At the third stage, the field studies of the grouting parameters and quality were carried out during the subfoundations reconstruction of two buildings in the city of Shakhty. It was proved that grouting in the hydraulically activated soils increases their strength up to 0.4 MPa and reduces subfoundations deformation by 2–2.5 times.

Discussion and Conclusions. Application of the comprehensive methodology to the study of grouting in the hydraulically activated soils of the underworked territories made it possible to substantiate the process flow schemes and parameters of consolidation and waterproofing of dispersive and fractured hard rocks. Based on the analytical, computer, laboratory and field study results, the consistent patterns and the degree of variation in the deformation-strength properties of the hydraulically activated subfoundation soils after viscoplastic grouting were established.

Keywords: geotechnical engineering, typification of conditions, process flow schemes, grouting, parameters, subfoundation soils, hydraulic activation, stabilisation pad, deformation, strength

For citation. Dolzhikov PN, Talalaeva VM. Study of Grouting in the Hydraulically Activated Subfoundation Soils Using the Comprehensive Approach. *Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning*. 2023;2(3):40–48. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-3-40-48

Введение. Территории шахтерских городов и поселков за последние десятилетия испытывают геомеханические, гидрогеологические и экологические преобразования в результате массового закрытия горных предприятий методом «мокрой» консервации. Результатом этого стали негативные процессы — вертикальные деформации, проявляющиеся в виде подтоплений, просадок и провалов земной поверхности. Из-за резкого подъема шахтных вод произошли комплексные изменения в системе «здание — грунтовый массив — урбанизированная среда». Свойства грунтов оснований фундаментов перешли в новую стадию деформирования в связи с их гидроактивизацией. В гидроактивизированном породном массиве проявляются новые геомеханические эффекты, приводящие здания в аварийное состояние [1–5].

Наиболее остро эта проблема развивается в Шахтинском угольном районе, где основная часть зданий находится под влиянием подработки породного массива. Поэтому весьма актуально изучение и применение методов реконструкции оснований фундаментов, представленных гидроактивизированными подработанными породами [4, 6, 9].

Практика строительства показывает, что сегодня одним из перспективных направлений усиления и гидроизоляции основания фундаментов является использование эффективного метода тампонажа вязкопластичным раствором в режиме гидроразрыва грунта [8–11]. Однако для названных геологических и горнотехнических условий данная технология требует адаптации и дифференциации путем установления новых закономерностей процесса тампонажа и применения эффективных ресурсосберегающих растворов. Поэтому целью исследований было изучение технологических схем, параметров тампонажа и степени упрочнения гидроактивизированных грунтов оснований фундаментов на подработанных территориях.

Материалы и методы. Поскольку применение метода тампонажа горных пород с целью их упрочнения и гидроизоляции определяется инженерно-геологическими и горнотехническими условиями, последние были доминирующим фактором при составлении методики исследований. Во-вторых, важное значение имеют технологические параметры инъекционного процесса, обеспечивающие качество работ. В-третьих, необходимо исследование изменение деформационно-прочностных параметров основания. Поэтому для всестороннего изучения процесса тампонажа гидроактивизированных грунтов оснований фундаментов применялась комплексная методика:

– анализ геологической и горнотехнической документации по подработанным и гидроактивизированным территориям;

– аналитические исследования процесса тампонирования дисперсных и скальных трещиноватых пород;

– компьютерное моделирование деформирования затампонированных горных пород для типовых горно-геологических условий;

– экспериментальные исследования фильтрационной консолидации разуплотненных горных пород вязкопластичным раствором;

– натурные исследования процесса тампонажа гидроактивизированных горных пород и повышения их прочности.

При проведении лабораторных испытаний свойств горных пород использовались образцы естественных пород ненарушенного сложения. Для выполнения физического моделирования применялись естественные образцы горных пород в условиях, сходных с натурными, в соответствии с критериями подобия.

Результаты исследования. В соответствии с комплексным подходом на первом этапе исследований выполнен инженерно-геологический и горнотехнический анализ и обоснована геоструктурная типизация территорий Шахтинско-Несветаевского района. В геологическом строении Шахтинской котловины принимают участие отложения горных пород четвертичного, неогенового и каменноугольного возрастов. Четвертичные отложения представлены эолово-делювиальными суглинками, неогеновые отложения представлены скифскими глинами и суглинками. Каменноугольные породы представлены отложениями среднего отдела карбона свитами C_2^5 и C_2^4.

С учетом инженерно-геологических условий Шахтинского угольного района гидроактвизированные территории на полях закрываемых угольных шахт классифицированы в три геоструктурных типа по следующим признакам (таблица 1):

Таблица 1

Типизация гидроактивизированных территорий на полях закрываемых шахт Шахтинского угольного района

№ п/п	Тип гидроактивизированной территории	Глубина уровня грунтовых вод	Мощность покровных отложений	Горные породы, преобладающие в разрезе
1	Тип III	2,0–5,0	20–50	Неогеновые и четвертичные отложения (пески, суглинки, глины)
2	Тип II	0,3–2,0	10–20	Аллювиальные и делювиальные четвертичные отложения (суглинки и глины)
3	Тип I	→0	0–5	Выход трещиноватых пород карбона на поверхность

Для приведенных инженерно-геологических условий в соответствии с принципом дифференциации обоснованы технологические схемы формирования искусственных оснований в типовых условиях подтопленных и подработанных территорий. Для I типа условий изучена схема тампонажа трещиноватых пород в основании фундамента; для II типа обоснована модель процесса тампонажа в режиме гидроразрыва вязкопластичным раствором зоны разуплотненного дисперсного грунта; для III типа разработана новая комбинированная схема формирования основания в дисперсных грунтах и стабилизационной подушки, в контакте с коренными отложениями.

Исходя из вышеизложенного, исследования проводились по двум направлениям: первое — тампонаж вязкопластичным раствором трещиноватых скальных пород на малых глубинах; второе — высоконапорная инъекция растворов в разуплотненные дисперсные породы в сочетании с формированием стабилизационной подушки.

На основании известных теоретических результатов [12] аналитически исследованы параметры тампонажной подушки на контакте покровных и коренных отложений. Для этого была решена теоретическая задача и определены формулы расчета основных параметров стабилизационной подушки: радиусы течения раствора, давление нагнетания, объемы инъекций, количество скважин. Так, общую толщину подушки на контакте коренных и покровных отложений можно вычислить по формуле:

$$D = \frac{a \cdot h(\Delta P - C - \rho \cdot g \cdot h \cdot tg\varphi)}{\beta(1 + e_0)} + \delta_0 \cdot e^{\beta_i(\Delta P + \lambda \cdot \gamma \cdot h \cdot \cos\alpha)},$$

где C — сцепление дисперсных пород, МПа; φ — угол внутреннего трения, град; ρ — плотность пород, кг/м^3; a — сжимаемость дисперсных пород, МПа-1; e_0 — начальный коэффициент пористости пород; β — эмпирический параметр; λ — коэффициент бокового давления; γ — удельный вес горных пород, кг/м^3; α — угол наклона канала течения; δ — раскрытие канала течения, м; β_i — комплексный параметр трещиноватости, Па-1; ΔP — перепад давления в канале, Па.

Анализ распределения раствора при формировании подушки показал, что основное деформирование будут испытывать дисперсные породы, а ее форма близка по параметрам к эллипсоиду.

Эмпирио-аналитическим методом проведены исследования процесса закрепления дисперсных разуплотненных пород. Для стабилизации зоны разуплотнения (деконсолидированных пород) целесообразно инъецировать в нее глиноцементный вязкопластичный раствор в напорном режиме. В дисперсных породах будет происходить фильтрационная консолидация, которая зависит от давления инъекции. Результаты исследований в виде графических зависимостей представлены на рис. 1.

Аналитическими исследованиями обосновано, что при тампонаже трещиноватых массивов глиноцементным раствором модуль общей деформации затампонированных пород увеличивается в 3–10 раза, а породный массив становится устойчивым. Экспериментально доказано, что модуль деформации затампонированного дисперсного породного массива с искусственной трещиноватостью изменяется с 18÷22 МПа до 28÷45 МПа, а модуль осадки составляет 3–7 мм/м.

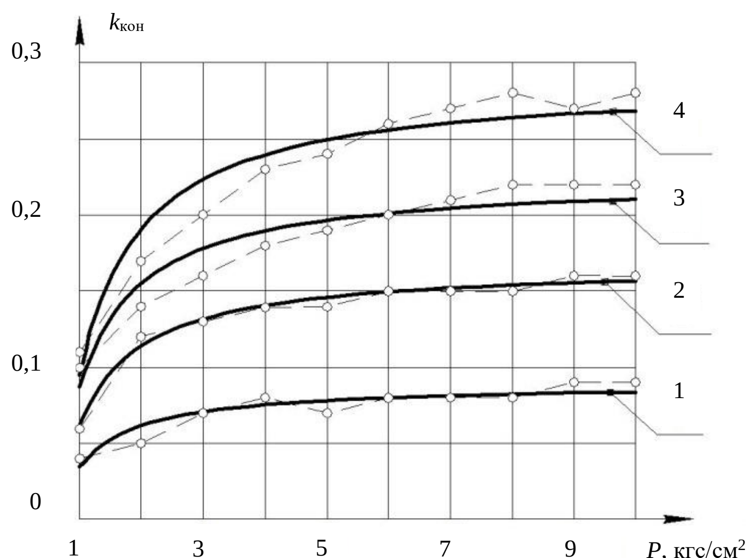


Рис. 1. Зависимость показателя консолидации суглинка от давления нагнетания раствора (начальный коэф. деконсолидации суглинка: 1 — 1,1; 2 — 1,2; 3 — 1,3; 4 — 1,4).

С помощью компьютерного моделирования исследовались вертикальные перемещения системы «основание – фундамент» при инъекционном упрочнении гидроактивизированного грунтового массива методом конечных элементов. В условиях подработанных и обводненных территорий основным фактором критических деформаций строительных конструкций является гидроактивизация грунтового массива по трем характерным типам инженерно-геологических разрезов. В результате выполненного численного моделирования получены грунтовые области подверженные максимальным деформациям со значениями абсолютных перемещений для каждой модели: № 1 — $U_{y\,abs}$ = 0,063 м; № 2 — $U_{y\,abs}$ = 0,053 м; № 3 — $U_{y\,abs}$ = 0,043 м. Закономерности распределения осадок системы «основание – фундамент» для трех моделей представлены на рис. 2.

Для проведения экспериментальных исследований процесса инъекционной консолидации и деформирования разуплотненного грунта в соответствии с критериями подобия была разработана специальная конструкция стенда. Исследования выполнялись на образцах четвертичного суглинка. Был рассмотрен наиболее часто встречаемый ряд суглинков с исходной объемной массой скелета $\gamma_{с.исх}$ = 1,3; 1,4; 1,5; 1,6; 1,7; 1,8 г/см^3, что позволило построить соответственно шесть зависимостей коэффициента фильтрации от плотности скелета грунта $К_ф = f(\gamma с)$ и установить закономерности деформирования затампонированных суглинков. Консолидация суглинков выполнялась нагнетанием глиноцементного раствора под давлением 0,3–0,5 МПа.

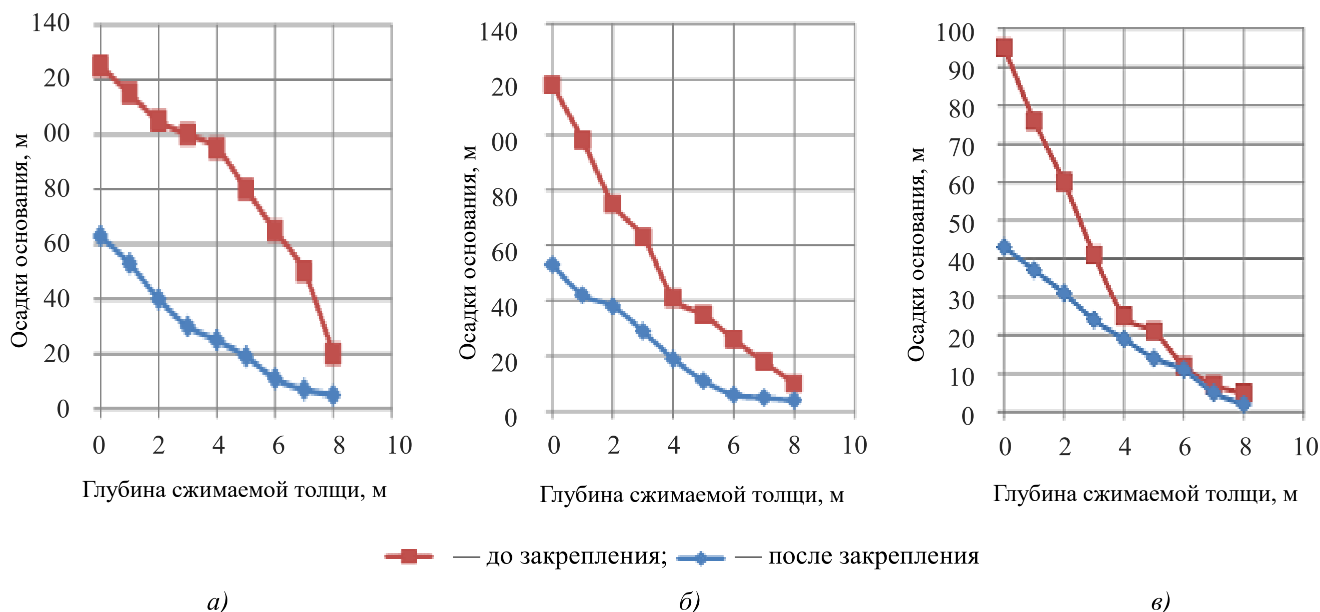


Рис. 2. Закономерности распределения осадок фундамента до и после формирования искусственного основания: *а* — в разуплотненном суглинке; *б* — в системе трещин; *в* — на контакте покровных и коренных пород

Анализ результатов исследований позволил сделать выводы о том, что уменьшение объемной массы скелета суглинка на 0,3–0,4 г/см^3 приводит к увеличению коэффициента фильтрации в 10 раз. При этом деформируемость суглинков в зависимости от влажности увеличивается в 17–21 раз [11]. На основании результатов стендовых исследований были определены величины и построена диаграмма распределения приращений объемной массы скелета грунта для обеспечения его водонепроницаемости и устойчивости при фильтрационной консолидации (рис. 3).

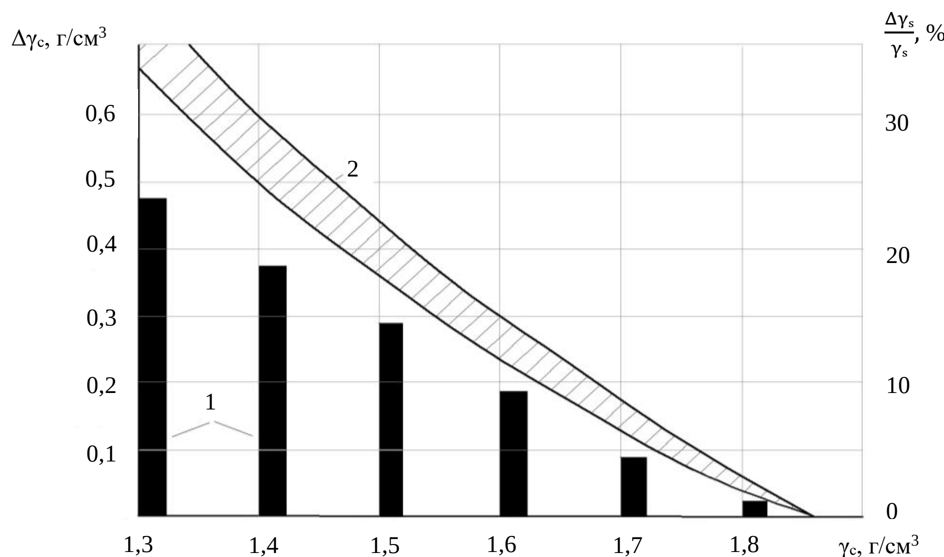


Рис. 3. Распределение абсолютного (1) и относительного (2) прироста объемной массы скелета грунта при его консолидации

Важным этапом исследований было проведение натурных испытаний технологии тампонажа гидроактивизированных грунтов. Для этого по усовершенствованной методике были рассчитаны технологические параметры напорной цементации обводненных разуплотненных глинистых пород, а также была разработана технологическая схема реконструкции основания для аварийного здания Дворца культуры в г. Шахты.

После анализа результатов инженерно-геологических изысканий и результатов обследования здания Дворца культуры, был выполнен сбор нагрузок и проведены расчеты напряжений под фундаментами, которые составили 0,30–0,33 МПа. При этом лабораторными испытаниями деформационно-прочностных свойств пород было обосновано, что длительная прочность обводненного грунта основания (просадочные суглинки) не превышает 0,24–0,26 МПа, а основой причиной деформирования здания является замачивание суглинков. Следовательно, по расчетам необходимая прочность грунтов искусственного основания должна составлять 0,36–0,39 МПа по всей глубине сжимаемой толщи.

С целью упрочнения грунтов основания фундаментов предложено выполнить их тампонаж на глубину 8,0 м в напорном режиме по буро-инъекционной технологии с использованием вязкопластичных растворов. Данный метод позволяет создать армирующий цементный каркас, уплотнить и гидроизолировать грунт [13]. В зависимости от свойств грунтов радиус напорной цементации достигает 1,0–1,2 м.

На основании аналитических и экспериментальных исследований нами была получена формула для расчета прочности закрепления грунта в зависимости от закачанного объема цементного раствора [14]:

$$\tau = 1,5\tau_0\left(1+\frac{kV_ц}{(1-n_0)V}\right) = 1,5\left(C_0+\sigma_н \operatorname{tg}\phi_0\right)\left(1+\frac{kV_ц}{(1-n_0)V}\right),$$

где τ_0 – исходная сдвиговая прочность грунта МПа; k — выход цементного камня; $V_ц$ — объем цементного раствора, м^3; n_0 — начальная пористость грунта; V — объем инъектируемого грунта, м^3.

Расчет сдвиговой прочности затампонированных грунтов по формуле дал значение 0,39 МПа. Для экспериментальной проверки приведенной эмпирио-аналитической формулы и уточнения технологических параметров инъекции грунтов на участке реконструкции здания Дворца культуры был организован опытный участок. На участке были пробурены пять экспериментальных скважин, в которые установили инъекторы диаметром 100 мм на глубину 8,0 м. В грунт под давлением до 0,5 МПа инъектировали цементно-силикатный раствор плотностью 1,8 г/см^3. После тампонажа грунтов выполнялись контрольное бурение с отбором керна и исследования прочности грунтов на сдвиг.

Сравнение результатов испытаний грунта на прочность выполнялось для сходственных инженерно-геологических условий (глубина 3,5 м; 6,5 м и 8,0 м) (таблица 2).

Таблица 2

Сдвиговая прочность заинъектированных грунтов

Грунт	Глубина, м	Сдвиговая прочность грунта, МПа, по скважинам				
		1	2	3	4	5
Суглинок	3,5	0,43	0,44	0,40	0,44	0,46
Глина	6,5	0,36	0,36	0,33	0,36	0,38
Глина	8,0	0,38	0,36	0,36	0,37	0,36

Обсуждение и заключение. Анализ полученных натурных результатов исследования свойств затампонированных грунтов показывает, что с погрешностью не более 12 % возможно на стадии проектирования оценить качество упрочнения грунта по расходу цемента. Также установлено, что закрепленные грунты на всех глубинах при замачивании просадочностью не обладают и могут работать как основание фундамента.

В результате комплексных научно-исследовательских работ получены основные результаты и выводы.

1. Инженерно-геологические условия эксплуатации оснований фундаментов на подработанных и гидроактивизированных территориях представлены тремя геоструктурным типами, что позволяет дифференцированно формировать искусственные основания фундаментов в дисперсных разуплотненных и скальных трещиноватых грунтах путем напорной инъекции вязкопластичных растворов.

2. В разуплотненных дисперсных грунтах инъекция вязкопластичных растворов в режиме гидрорасчленения при давлениях не более 1 МПа позволяет достигать показателя консолидации 0,26, увеличения модуля общей деформации до 28–45 МПа, прочности до 0,4 Мпа и водонепроницаемости при плотности скелета грунта 1,9 г/см^3, что обеспечивает снижение осадок фундаментов в 2–2,5 раза.

3. Инъектирование скальных трещиноватых грунтов глиноцементным раствором увеличивает модуль общей деформации затампонированных пород в 3–10 раз, что обеспечивает снижение осадок фундамента в 2,2 раза, а постановка вязкопластичной стабилизационной подушки на контакте с покровными отложениями обеспечивает дополнительную консолидацию и гидроизоляцию дисперсных грунтов, что стабилизирует деформации фундаментов.

Список литературы

1. Должиков, П.Н., Прокопов А.Ю. *Геодинамические процессы в гидроактивизированных подработанных горных массивах*. Монография. Ростов-на-Дону: РГСУ; 2015. 149 с. URL: https://ntb.donstu.ru/content/geodinamicheskie-processy-v-gidroaktivizirovannyh-podrabotannyh-gornyh-massivah (дата обращения: 22.08.2023).

2. Бондаренко О.В., Кочергин В.И., Кураков Ю.И., Ляшенко Ю.М., Мартыненко И.А., Масленников С.А. и др. *Проблемы развития горнодобывающего комплекса Восточного Донбасса и пути их решения.* Монография. Страданченко С.Г. (ред.). Новочеркасск: Лик; 2009. 198 с. URL: https://www.geokniga.org/books/16276 (дата обращения: 25.08.2023).

3. Dolzhikov P., Semiriagin S. Investigation and Technical Decisions of the Mining and Ecological Problems while Closing Coal Mining. In: *Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane and Ores Mining.* Leiden, Netherlandes: CRS Press/Balkema; 2014. P. 147–151. URL: https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/b17547-27/investigations-technical-decisions-mining-ecological-problems-closing-coal-mines-dolzhikov-semiriagin (дата обращения: 20.08.2023).

4. Должиков П.Н., Пронский Д.В., Легостаев С.О. *Тампонажно-закладочные работы в регионах закрытия шахт.* Монография. Ростов-на-Дону: ООО «ДГТУ-Принт»; 2020. 290 с.

5. Belodedov A.A., Dolzhikov P.N., Legostaev S.O. Research into Dangerous Surface Deformations over Inclined Shafts of Abandoned Coal-Mines. In: *Scientific Reports on Resource Issues. Vol. 1.* Freiberg, Germany: TU Bergakademie; 2016. P. 159–165.

6. Должиков П.Н., Легостаев С.О., Талалаева В.М. Анализ гидроактивизации массива горных пород при подтоплении Шахтинского угольного района. В: *Сб. матер. 14-й межд. научн.-техн. конф. «Перспективы развития строительных технологий».* Днепр: НТУ «ДП»; 2020. С. 16–21. URL: https://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/155402 (дата обращения: 24.08.2023).

7. Herion S., Fleischer O., Ernst R., Bruns C. Numerical Investigations on the Deformation Behavior of Horizontal Loaded Injection Piles. In: *Proceedings of the Twenty-Fifth International Ocean and Polar Engineering Conference of the International Society of Offshore and Polar Engineers.* Kona, USA; 2015. P. 79–83. URL: https://onepetro.org/ISOPEIOPEC/proceedings-abstract/ISOPE15/All-ISOPE15/ISOPE-I-15-637/14956 (дата обращения: 21.08.2023).

8. Исаев Б.И., Бадеев С.Ю., Цапкова Н.Н. *Инъекция грунтов при возведении фундаментов, подготовка оснований и охрана окружающей среды*. Ростов-на-Дону: Фонд науки и образования; 2014. 513 с.

9. Прокопов А.Ю., Должиков П.Н., Талалаева В.М. *Стабилизация деформаций земной поверхности при закрытии шахт.* Ростов-на-Дону: ООО «ДГТУ-принт»; 2020. 196 с.

10. Должиков, П.Н., Збицкая В.В. *Буро-инъекционная технология упрочнения оснований фундаментов.* Монография. Ростов-на-Дону: ООО «ДГТУ-принт»; 2019. 174 с.

11. Benoot J., Dewaele L., Provoost N., Kindt P., Atalar C. Analysis of installation factors of screwed tube piles with grout injection. Atalar C. (Editor). In: *Proceedings of the Fourth International Conference on New Developments in Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*; 2016;1(1):225–230. URL: https://clck.ru/35hDyo (дата обращения: 28.08.2023).

12. Кипко Э.Я., Должников П.Н., Дудля Н.А., Кипко А.Э., Лушникова О.Ю., Попов А.В. и др. *Комплексный метод тампонажа при строительстве шахт*. 2-е изд., перераб. и доп. Днепропетровск: Национальный горный ун-т; 2004. 367 с.

13. Должиков П.Н., Акопян А.Ф., Акопян В.Ф. Исследование деформационно-прочностных свойств грунтов, армированных буро-инъекционными сваями. *Известия ТулГУ. Науки о Земле.* 2019;(4):221–228. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/issledovaniya-deformatsionno-prochnostnyh-svoystv-gruntov-armirovannyh-buro-inektsionnymi-svayami (дата обращения: 24.08.2023).

14. Должиков, П.Н., Легостаев С.О., Сычев И.В. Реконструкция фундамента и основания аварийного здания на подработанной гидроактивизированной территории. *Известия ТулГУ. Науки о Земле.* 2022;(1):241–250. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/rekonstruktsiya-fundamenta-i-osnovaniya-avariynogo-zdaniya-na-podrabotannoy-gidroaktivizirovannoy-territorii (дата обращения: 25.08.2023).

References

1. Dolzhikov PN, Prokopov AY. *Geodinamicheskie Protsessy v Gidroaktivizirovannykh Podrabotannykh Gornykh Massivakh.* Monograph. Rostov-on-Don: RGSU Publ.; 2015. 149 p. (In Russ.) URL: https://ntb.donstu.ru/content/geo-dinamicheskie-processy-v-gidroaktivizirovannyh-podrabotannyh-gornyh-massivah (accessed: 22.08.2023).

2. Bondarenko OV, Kochergin VI, Kurakov YI, Lyashenko YM, Martynenko IA, Maslennikov SA, et al. *Problemy razvitiya gornodobyvayushchego kompleksa Vostochnogo Donbassa i puti ikh resheniya.* Monograph. Stradanchenko (Editor). Novocherkassk: Lik Publ.; 2009. 198 p. (In Russ.) URL: https://www.geokniga.org/books/16276 (accessed: 25.08.2023).

3. Dolzhikov P, Semiriagin S. Investigation and Technical Decisions of the Mining and Ecological Problems while Closing Coal Mining. In: *Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane and Ores Mining.* Leiden, Netherlandes: CRS Press/Balkema; 2014. P. 147–151. URL: https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/b17547-27/investigations-technical-decisions-mining-ecological-problems-closing-coal-mines-dolzhikov-semiriagin (accessed: 20.08.2023).

4. Dolzhikov PN, Pronskii DV, Legostaev SO. *Tamponazhno-zakladochnye raboty v regionakh zakrytiya shakht.* Monograph. Rostov-on-Don: DSTU-Print, LLC; 2020. 290 p. (In Russ.)

5. Belodedov AA, Dolzhikov PN, Legostaev SO. Research into Dangerous Surface Deformations over Inclined Shafts of Abandoned Coal-Mines. In: *Scientific Reports on Resource Issues. Vol. 1.* Freiberg, Germany: TU Bergakademie; 2016. P. 159–165.

6. Dolzhikov PN, Legostaev SO, Talalaeva VM. Analiz Gidroaktivizatsii Massiva Gornykh Porod Pri Podtoplenii Shakhtinskogo Ugol'nogo Raiona. In: *Proceedings of the 14th International Scientific and Engineering Conference "Perspectives of Construction Industry Development".* Dnepr: National Technical University "Dniprovska Polytechnic"; 2020. P. 16-21. (In Russ.) URL: https://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/155402 (accessed: 24.08.2023).

7. Herion S, Fleischer O, Ernst R, Bruns C. Numerical Investigations on the Deformation Behavior of Horizontal Loaded Injection Piles. In: *Proceedings of the Twenty-Fifth International Ocean and Polar Engineering Conference of the International Society of Offshore and Polar Engineers.* Kona, USA; 2015. P. 79–83. URL: https://onepetro.org/ISOPEIOPEC/proceedings-abstract/ISOPE15/All-ISOPE15/ISOPE-I-15-637/14956 (accessed: 21.08.2023).

8. Isaev BI, Badeev SY, Tsapkova NN. *In`ektiya Gruntov Pri Vozvedenii Fundamentov, Podgotovka Osnovanii i Okhrana Okruzhayushchei Sred*y. Rostov-on-Don: Science and Education Foundation; 2014. 513 p. (In Russ.)

9. Prokopov AY, Dolzhikov PN, Talalaeva VM. *Stabilizatsiya Deformatsii Zemnoi Poverkhnosti Pri Zakrytii Shakht*. Rostov-on-Don: DSTU-Print, LLC; 2020. 196 p. (In Russ.)

10. Dolzhikov PN., Zbitskaya VV. Buro-In`ektsionnaya Tekhnologiya Uprochneniya Osnovanii Fundamentov : *Monograph*. Rostov-on-Don: DSTU-Print, LLC, 2019. 174 p. (In Russ.)

11. Benoot J, Dewaele L, Provoost N, Kindt P, Atalar C. Analysis of installation factors of screwed tube piles with grout injection. Atalar C. (Editor). In: *Proceedings of the Fourth International Conference on New Developments in Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*; 2016;1(1):225–230. URL: https://clck.ru/35hDyo (accessed: 28.08.2023).

12. Kipko EY, Dolzhikov PN, Dudlya NA, Kipko AE, et al. Kompleksnyi Metod Tamponazha pri Stroitel'stve Shakht. 2nd edition reworked and supplemented. Dnepropetrovsk: National Technical University; 2004. 367 p. (In Russ.)

13. Dolzhikov PN, Akopyan AF, Akopyan VF. Issledovanie Deformatsionno-Prochnostnykh Svoistv Gruntov, Armirovannykh Buro-In'ektsionnymi Svayami. *Izvestiya TulGU. Nauki o Zemle.* 2019;(4):221–228. (In Russ.) URL: https://cyberleninka.ru/article/n/issledovaniya-deformatsionno-prochnostnyh-svoystv-gruntov-armirovannyh-buro-inektsionnymi-svayami (accessed: 24.08.2023).

14. Dolzhikov PN, Legostaev SO, Sychev IV. Rekonstruktsiya fundamenta i osnovaniya avariinogo zdaniya na podrabotannoi gidroakti-vizirovannoi territorii. *Izvestiya TulGU. Nauki o Zemle.* 2022;(1):241-250. (In Russ.) URL: https://cyberleninka.ru/article/n/rekonstruktsiya-fundamenta-i-osnovaniya-avariynogo-zdaniya-na-podrabotannoy-gidroaktivizirovannoy-territorii (accessed: 25.08.2023).

Поступила в редакцию 27.08.2023
Поступила после рецензирования 06.09.2023
Принята к публикации 19.09.2023

Об авторах:

Должиков Петр Николаевич, профессор кафедры «Инженерная геология, основания и фундаменты» Донского государственного технического университета (344003, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), доктор технических наук, профессор, ORCID, dolpn@yandex.ru.

Талалаева Виктория Михайловна, ассистент кафедры «Инженерная геология, основания и фундаменты» Донского государственного технического университета (344003, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), ORCID, victory88t@gmail.com.

Заявленный вклад авторов:
П.Н. Должиков — горно-технический анализ, компьютерное моделирование, участие в натурных исследованиях, анализ результатов и руководство исследованиями;
В.М. Талалаева — инженерно-геологический анализ, аналитические и экспериментальные исследования, участие в натурных исследованиях, оформление результатов исследований.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Received 27.08.2023
Revised 06.09.2023
Accepted 19.09.2023

About the Authors:
Petr N. Dolzhikov, Dr.Sci.(Engineering), Professor of the Engineering Geology, Bases and Foundations Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), ORCID, dolpn@yandex.ru
Viktoria M. Talalaeva, Assistant of the Engineering Geology, Bases and Foundations Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), ORCID, victory88t@gmail.com

Claimed contributorship:
PN Dolzhikov — mining-engineering analysis, computer modeling, participation in field studies, research results analysis and research supervision;
VM Talalaeva — geotechnical analysis, analytical and experimental studies, participation in field studies, research results description.

Conflict of interest statement: the authors do not have any conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.





УДК 691.326

Научная статья

https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-3-49-56



Экспериментально-теоретическое обоснование целесообразности использования индивидуальных свойств фибропенобетона в сейсмостойком строительстве

Л.В. Моргун ✉, **А.С. Порохня**

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

✉konst-lvm@yandex.ru

Аннотация

Введение. На основе эволюционного анализа целесообразности применения легких бетонов в сейсмостойком строительстве, показано, что развитие перечисленных технологий способствует снижению материалоемкости строительного комплекса и росту долговечности зданий при воздействии на них сейсмических нагрузок. Непрерывно осуществляется поиск эффективных решений для строительства сейсмоустойчивых зданий, отмечаются причины сокращения номенклатуры энергоэффективных изделий из автоклавного газобетона. Целью исследования является формирование перечня современных технологических приемов, позволяющих добиться повышения сейсмоустойчивости зданий.

Материалы и методы. Приведены перечень и свойства сырьевых материалов, использованных для изготовления пенобетонных смесей по одностадийной технологии. Указан перечень оборудования, примененного при оценке механических свойств исследуемых материалов.

Результаты исследования. Получены новые экспериментальные данные о существенном влиянии индивидуальных свойств фибры на величину предельной деформативности дисперсно армированных пенобетонов и их прочность на растяжение при изгибе. Подтверждено положительное влияние длинны фибры на механические свойства пенобетонов. Отмечено значимое положительное влияние дисперсного армирования на однородность проявления механических свойств в объеме пенобетона.

Обсуждение и заключение. Выполненная работа показала, что индивидуальные свойства фибры являются важным инструментом управления эксплуатационными свойствами пенобетонов. На итоговые свойства газонаполненного каменного материала оказывают влияние длина волокон и их предельная деформативность. Длина фибры важна для показателей прочности на растяжение при изгибе, а предельная растяжимость управляет величиной этого параметра в композиционном материале.

Ключевые слова: легкий бетон, фибра, пенобетон, прочность на растяжение при изгибе, предельная растяжимость

Благодарности: Авторы выражают благодарность за участие в формовании экспериментальных образцов студентам и магистрантам инженерно-строительного факультета ДГТУ.

Для цитирования: Моргун Л.В., Порохня А.С. Экспериментально-теоретическое обоснование целесообразности использования индивидуальных свойств фибропенобетона в сейсмостойком строительстве. *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий*. 2023;2(3):49–56. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-3-49-56

Original article

Experimental and Theoretical Justification of the Foam Fiber-Reinforced Concrete Application Expediency in Earthquake-Resistant Construction

Lyubov V. Morgun, **Aksinya S. Porokhnya**

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

✉konst-lvm@yandex.ru

Abstract

Introduction. Based on the evolutionary approach to the analysis of the lightweight concrete application expediency in earthquake-resistant construction it has been revealed that development of the above mentioned technologies fosters the

reduced material consumption in construction and the increased durability of buildings under the seismic loads. The efficient solutions for constructing the earthquake-resistant buildings are constantly searched for, and the reasons for reducing the range of energy-efficient products made of the autoclaved aerated concrete are noticed. The research is aimed at compiling an inventory of modern technological methods of increasing the buildings seismic resistance.
Materials and Methods. The list and properties of raw materials used for single-stage technology manufacture of the foam concrete mixtures have been provided. The list of equipment used for assessing the studied materials' mechanical properties has been defined.
Results. The new experimental data confirming the significant influence of the individual properties of fiber on the value of the dispersedly reinforced foam concrete ultimate deformability and bending tensile strength has been obtained. The positive effect of the length of fiber on the foam concrete mechanical properties has been confirmed. The considerably positive effect of the dispersed reinforcement on the homogeneity of mechanical properties observed in the foam concrete mass has been distinguished.
Discussion and Conclusions. The work performed has elucidated the importance of the individual properties of fiber as a tool for managing the operational properties of foam concrete. The ultimate properties of the aerated rock material are influenced by the length of fibers and their ultimate deformability. The length of fiber is important for the bending tensile strength, whereas the values of this parameter in the composite material are regulated by the ultimate extensibility.

Keywords*:* lightweight concrete, fiber, foam concrete, bending tensile strength, ultimate extensibility

Acknowledgements. The authors express their gratitude to undergraduate and master's students of the Civil Engineering Faculty of DSTU for participation in manufacturing of the experimental samples.

For citation. Morgun LV, Porokhnya AS. Experimental and Theoretical Justification of the Foam Fiber-Reinforced Concrete Application Expediency in Earthquake-Resistant Construction. *Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning*. 2023;2(3):49–56. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-3-49-56

Введение. В феврале 2023 года планета пережила мощное землетрясение в малой Азии, в результате которого огромное количество людей утратило жилье. Строительство, как одна из важнейших областей материального производства, предназначено для защиты живых организмов от негативных воздействий среды обитания и является самым крупным потребителем [1, 2] материальных ресурсов планеты. Ежегодно в мире происходят землетрясения, которые приводят к разрушениям зданий и человеческим жертвам. Часть из них можно отнести к землетрясениям регионального масштаба, а большинство являются просто разрушительными толчками, которые фиксируются как чрезвычайные ситуации и наносят ощутимый вред народному хозяйству страны и населению [3].

Учитывая тот факт, что на 1 января 1900 года на Земле проживало 2 миллиарда человек, а на 16 ноября 2022 года их стало уже 8 миллиардов, потребность в зданиях различного назначения остается большой. Следовательно, строительные науки должны, с одной стороны, находить пути снижения материалоемкости строительных объектов, а с другой — создавать их устойчивыми по отношению к сдвигам земной коры.

Решение обозначенных проблем может находиться в разных плоскостях. Так, например, разнообразные технологические приемы, обеспечивающие повышение прочности бетонов, применяемых для несущих конструкций зданий, способствуют повышению их сейсмоустойчивости [4–6]. Расчеты, выполняемые при проектировании сейсмоустойчивых строительных объектов, кроме требований к прочности материалов, из которых они возводятся, крайне чувствительны к особенностям распределения нагрузок на несущие элементы зданий и их общей массе. К перечню факторов, оказывающих важнейшее влияние на сейсмостойкость сооружений, специалисты относят:

– грунтовые условия площадки строительства;
– методы расчета зданий на сейсмические воздействия;
– конструктивные особенности объекта и способы сейсмоизоляции его несущих конструкций.

Анализ особенностей сейсмостойкого проектирования [7, 8], используемого в различных странах мира, показывает, что любой из применяемых способов учитывает тот факт, что при прочих равных условиях, способность сооружения сохранить свою форму и назначение, защищать людей от травм корреляционно зависит от массы строительных конструкций (таблица 1).

Специалисты, анализирующие результаты чрезвычайных ситуаций отмечают, что абсолютное большинство жертв, возникающих при землетрясениях, образуется в результате крупнообломочного разрушения конструкций зданий. Именно поэтому необходимо уделять особое внимание свойствам материалов, влияющих на сейсмоустойчивость сооружений, возводимых в тектонически опасных регионах не только по показателям материалоемкости (таблица 1), но и по особенностям их разрушения при утрате несущей способности.

Таблица 1

Правила учета размера сейсмических сил при проектировании в различных странах мира

Страна	Перечень сил, учитываемых в сейсмических расчетах
РФ	Сейсмическая нагрузка на конструкции зависит от **массы** здания
Китай	Сдвиг зависит от коэффициента сейсмического влияния и **веса** здания
Япония	При землетрясении сдвиг зависит от **веса** здания. Кроме того, сдвиг зависит от коэффициента структурной характеристики, который учитывает влияние **пластичности сооружения**, и от коэффициента, **учитывающего** эксцентриситеты приложения нагрузок и вертикальную жесткость здания
Европа	Сдвиговые перемещения и сейсмические силы зависят от **спектрального** отклика и фундаментального периода конструкции
США	Сдвиг зависит от **сейсмического веса**, фактора сейсмической опасности и от коэффициента ответа

Поиск эффективных решений для строительства сейсмоустойчивых зданий показал, что замена железобетона легкими стальными тонкостенными конструкциями (ЛСТК) обеспечивает лучшую сейсмоустойчивость строительных объектов [8]. Требуемый практикой эффект достигается за счет проявления стальным каркасом повышенной, по сравнению с традиционными видами бетонов, деформативности.

Снижение плотности бетонов, используемых для возведения сейсмоустойчивых зданий, при обеспечении требуемого уровня прочности, позволяет существенно повышать их этажность и безопасность. Развитие технологий легких бетонов (слитной и ячеистой структур) позволило в XX веке успешно решить ряд урбанистических и других проблем крупных городов [9].

Одними из первых, кто понял важность уменьшения материалоемкости строительных конструкций при достижении амбициозных архитектурных и строительных целей были древние римляне. После завершения гражданской войны и полного разрушения «золотого» дворца императора Нерона в I веке нашей эры для удовлетворения зрелищных потребностей граждан Рима был построен Колизей. Фактором, способствующим сейсмоустойчивости этого сооружения до настоящего времени, является применение легкого бетона, уложенного в конструкции ограждений [10]. Чуть позже, во II веке, после землетрясения, разрушившего «храм всех богов», у Пантеона появился купол, выполненный из армированного легкого бетона. Перечисленные примеры отражают важность индивидуальных свойств материалов для успешного их применения в строительных конструкциях.

Газонаполненные бетоны запатентованы на рубеже XIX и XX веков[1] и как материалы, пригодные для возведения стен зданий в практике строительства впервые стали применяться в первой трети XX века. Сначала это были пенобетоны плотностью 1000–1200 кг/м^3, а затем газосиликаты плотностью 700–900 кг/м^3 [11].

Научные исследования, направленные на совершенствование эксплуатационных свойств ячеистых бетонов [11, 12], выполненные в начале и середине прошлого века, позволили после завершения Второй мировой войны обеспечить Европу и СССР дешевым жильем, которое успешно продолжает эксплуатироваться и в настоящее время. Почти до 80-х годов XX века из автоклавного газосиликата стройиндустрия поставляла на стройплощадки [13]:

- крупноразмерные стеновые панели;
- плиты перекрытий;
- мелкоштучные блоки.

Перечисленная номенклатура изделий выпускалась преимущественно из газобетонов марки D600.

В XXI веке освоенные технологии автоклавного газосиликата перестали обеспечивать возможность изготовления крупноразмерных панелей потому, что требуемое практикой увеличение толщины ограждающих конструкций не позволяло осуществлять их бездефектную распалубку. Теперь автоклавная стройиндустрия выпускает только мелкоштучные изделия марок D300…600, потери которых при транспортировании и укладке достигают 10–15 %. Стены зданий стали многослойными. Отсутствие учета паропроницаемости слоев через несколько лет эксплуатации приводит к появлению плесени внутри помещений и фрагментарному отслоению наружной кирпичной кладки в местах сопряжений фрагментов стен с разным сопротивлением теплопередаче [13].

Проблемы недостаточной трещиностойкости и ограниченной прочности на растяжение ячеистых бетонов были поставлены практикой ещё в прошлом веке [14–16]. Эти проблемы чрезвычайно актуальны для тектонически-активных регионов потому, что применение газонаполненных бетонов позволяет существенно снижать массу ограждающих строительных конструкций и, таким образом, повышать сейсмоустойчивость и безопасность зданий. Тем не менее, применение автоклавного газосиликата пока не имеет обширной практики. Причиной ограниченного интереса строителей к этому материалу является его малая трещиностойкость.

[1] Пинскер В.А., Вылегжанин В.П. История и опыт строительства из пенобетона. ООО «Стройбетон» [сайт]. 2011. URL: https://www.ibeton.ru/articles/stroitelstvo-iz-penobetona/istoriya-i-opyt-stroitelstva-iz-penobetona/?ysclid=lmhpzs5u4l317298173 (дата обращения: 11.06.2023).

В настоящее время строительный комплекс РФ может пользоваться результатами экспериментально-теоретических разработок технологии пенобетонов дисперсно армированных синтетическими волокнами [16, 17]. Этот вид газонаполненного бетона отличается от равноплотного автоклавного газосиликата рядом технологических особенностей изготовления [18] и, как следствие, эксплуатационными свойствами [19], перечень и величина которых выгодно отделяет его от автоклавного газосиликата.

К перечню важнейших преимуществ фибропенобетонов относят:

– повышенную устойчивость к действию открытого огня [20];

– вязко-пластичный характер разрушения под действием ударных и изгибающих нагрузок [20].

Тем не менее, до настоящего времени не накоплено достаточного объема научной информации, практическое использование которой позволит проектировщикам успешно закладывать этот материал в проектные решения и, таким образом, способствовать практическому повышению сейсмоустойчивости зданий. Поэтому целью настоящего исследования является пополнение существующих знаний о взаимосвязи между видом дисперсной арматуры, используемой для повышения трещиностойкости пенобетона, её длиной и параметрами его предельной деформативности. Поскольку, по нашему мнению, величина предельной растяжимости материала под действием нагрузок может влиять на эксплуатационные свойства материала в конструкции.

Материалы и методы. В качестве вяжущего использовали рядовой портландцемент типа ЦЕМI 32,5. Заполнитель — песок речной фракции мельче 0,315 мм, пенообразователь «Lumorol – 1510», вода водопроводная. Соотношение между цементом и песком было принято Ц:П= 1:1. Расход фибры составлял 1 % от массы заполнителя. В качестве фибры использовали волокна длиной 12 и 18 мм следующей вещественной природы:

– полипропиленовую (ПП) с модулем упругости 8000 МПа, прочностью на растяжение 600 МПа, предельной растяжимостью до 20 % и диаметром 0,020 мм.;

– полиамидную (ПА) с модулем упругости 10000 Мпа, прочностью на растяжение 1200 Мпа, предельной растяжимостью 15 % и диаметром 0,018 мм;

– полиакрилонитрильную (ПАН) с модулем упругости 6000 Мпа, прочностью на растяжение 450 Мпа, предельной растяжимостью 26 % и диаметром 0,024 мм.

За контрольный был принят равноплотный пенобетон без фибры. Пено- и ФПБ-смеси изготовляли по одностадийной технологии в смесителе турбулентного типа. Для получения экспериментальных данных формовали образцы кубы с ребром 100 мм и образцы-балки размерами 40×40×160 мм и 100×100×305 мм.

Все образцы твердели в нормальных условиях, после чего подвергались испытаниям в соответствии с требованиями ГОСТ 10180-2012. Величину механических свойств бетонов устанавливали на испытательном прессе «Matest S-205». Автоматический контроль хода механических испытаний осуществляли в координатах «нагрузка-деформации». В ходе выполнения эксперимента все разновидности изготовленных бетонов относились к плотности D700, то есть являлись конструкционно-теплоизоляционными (таблица 2).

Результаты исследования. Данные, приведенные в таблице 2, отражают тот факт, что прочность при сжатии всех видов пенобетонов конструкционно-теплоизоляционного назначения различается весьма несущественно. Расчетный диапазон колебаний установленных величин составил 0,7–3 % и не является значимым при использовании полученных данных в проектировании сейсмостойких зданий.

Анализ результатов по величине прочности на растяжение при изгибе отражает влияние механических и физических свойств фибры на эксплуатационные свойства получаемого газонаполненного бетона. Из данных, приведенных в таблице 2 следует, что влияние длины всех видов синтетической дисперсной арматуры проявлено четко. Все испытанные образцы, дисперсно армированные более длинной фиброй, обладали и большей прочностью на растяжение при изгибе. Важно отметить, что чем выше механические свойства использованной фибры, тем лучшие показатели прочности на растяжение при изгибе продемонстрировали испытанные пенобетоны.

Экспериментально установлено, что при прочих равных условиях, сопротивление растяжению при изгибе у ФПБ с полиамидной фиброй на 10,9–12,2 % выше, чем у равноплотного материала дисперсно армированного полиакрилонитрилом и не менее чем на 250 % больше контрольного. Пенобетоны дисперсно армированные полипропиленом показали промежуточные результаты. Если сравнивать информацию о полученных механических свойствах композитов с индивидуальными свойствами фибры, то следует признать, что свойства ФПБ хорошо коррелируют с величинами модулей упругости и предельной растяжимостью волокнистых компонентов сырья.

У фибры ПАН модуль упругости всего 6000 Мпа и предельная растяжимость достигает 26 %, а у фибры ПА модуль упругости более чем в 1,5 раза выше и предельная растяжимость во столько же раз меньше. Тем не менее, модуль упругости и предельная растяжимость всех видов фибры существенно превышают эти же показатели контрольного бетона. Полученный результат отражает меру и характер влияния всех видов фибры на распределение напряжений в твердой фазе газонаполненного бетона при действии на него нагрузок.

Таблица 2

Свойства исследованных пено- и фибропенобетонов

Вид и длина фибры	Размеры образцов, мм	Средняя плотность, кг/м^3	Прочность, МПа		Деформации при появлении первой трещины в растянутой зоне, мм/м
			на сжатие	растяжение при изгибе	
ПП длиной 18 мм	160×40×40	726	–	1,38	0,51
	305×100×100	718	–	0,95	0,50
	100×100×100	721	2,69	–	–
ПП длиной 12 мм	160×40×40	725	–	1,17	0,49
	305×100×100	715	–	0,92	0,46
	100×100×100	716	2,70	–	–
ПА длиной 18 мм	160×40×40	728	–	1,44	0,53
	305×100×100	739	–	1,07	0,52
	100×100×100	732	2,79	–	–
ПА длиной 12 мм	160×40×40	719	–	1,22	0,51
	305×100×100	714	–	1,05	0,52
	100×100×100	712	2,80	–	–
ПАН длиной 18 мм	160×40×40	725	–	1,25	0,44
	305×100×100	729	–	0,73	0,42
	100×100×100	730	2,74	–	–
ПАН длиной 12 мм	160×40×40	726	–	1,09	0,43
	305×100×100	724	–	0,66	0,42
	100×100×100	722	2,74	–	–
Пенобетон без фибры	160×40×40	730	–	0,487	0,36
	305×100×100	728	–	0,306	0,35
	100×100×100	736	2,72	–	–

Если рассматривать свойства полученных ФПБ с позиций целесообразности их применения в сейсмостойком строительстве, то важно отметить следующее:

– ФПБ изготовляют из дисперсного сырья, которое после технологической переработки в бетон и при воздействии на него нагрузок, превышающих его прочность, обладает вязким характером разрушения [12–15, 20]. Поэтому в чрезвычайных ситуациях (землетрясениях, взрывах) такой материал обильным трещинообразованием предупреждает о приближении разрушения;

– предельная растяжимость всех видов исследованных ФПБ на 20–48 % превышает этот показатель у контрольного равноплотного пенобетона (таблица 2), поэтому можно прогнозировать, что строительные конструкции из него при толчках малой интенсивности будут получать существенно меньшее количество повреждений, следовательно, его применение обеспечит повышение безопасности эксплуатации зданий;

– снижение массы строительных конструкций за счет применения ФПБ корреляционно уменьшит размер сейсмических сил, учитываемых при проектировании сейсмоустойчивых сооружений;

– разрушение строительных конструкций из ФПБ может иметь не крупнообломочный характер, а выкрашивание из них твердых частиц размером в несколько мм, которые не способны приводить к летальному исходу живых организмов.

Заключение. Выполненные исследования показали, что свойства материалов, применяемых для возведения зданий в сейсмоопасных регионах влияют на сейсмоустойчивость и безопасность эксплуатации строительных сооружений. Поэтому индивидуальные физико-механические свойства и геометрические параметры фибры, применяемой для дисперсного армирования пенобетонов, могут быть важными инструментами влияния на эксплуатационные свойства строительных конструкций из пенобетонов.

Экспериментально установлено, что рост длины фибры в исследованном диапазоне размеров способствует не только повышению прочности бетонов на растяжение при изгибе, но и их предельной растяжимости. Бетоны, обладающие высокой предельной растяжимостью, являются более трещиностойкими и безопасными при воздействии на них чрезвычайных и сейсмических нагрузок.

Модуль упругости и предельная растяжимость синтетических волокон являются важными факторами влияния на сейсмоустойчивость бетонов. Чем больше предельная растяжимость отдельного вида синтетической фибры, тем меньшим по величине может быть технический эффект от её использования в бетоне. Поэтому, если для повышения сейсмоустойчивости строительных конструкций планируется применение дисперсно армированных пенобетонов, то их следует изготовлять с использованием полиамидной фибры длиной не менее 18 мм.

Список литературы

1. Дебиева И.И. К анализу инновационных возможностей Чеченской республики в сфере материального производства. В: *Современная экономика: актуальные вопросы, достижения и инновации: сборник статей XXXVII Международной научно-практической конференции, Пенза, 25 ноября 2020 года.* Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.); 2020. С. 91–97.

2. Донченко О.М., Карпович Н.А. Широкое применение конструкционно-теплоизоляционных бетонов – приоритетное направление снижения материалоемкости и повышения эффективности капитального строительства. *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова.* 2014(2):53–54.

3. Архиреева И.Г., Заалишвили З.В. Об экономических аспектах последствий сильного землетрясения. *Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений.* 2013(6):15–18. URL: http://www.seismoconstruction.ru/articles/ob_ekonomicheskikh_aspektakh_posledstviy_silnogo_zemletryaseniya/ (дата обращения: 07.06.2023).

4. Мкртычев О.В., Дорожинский В.Б., Сидоров Д.С. Исследование сейсмостойкости железобетонных зданий различных конструктивных схем. *Вестник МГСУ.* 2015;10(12):66–75. URL: https://www.vestnikmgsu.ru/jour/issue/viewIssue/92/89 (дата обращения: 15.06.2023).

5. Панасюк Л.Н., Кравченко Г.М. Расчет каркаса монолитного здания на прогрессирующее разрушение с учетом динамических эффектов. В: *Строительство – 2015: современные проблемы строительства: материалы международной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 16–17 мая 2015 года.* Ростов-на-Дону: ФГБОУ ВПО Ростовский государственный строительный университет; 2015. С. 456–459.

6. Costanzo S., D'Aniello M., Landolfo R. Seismic Design Criteria for Chevron CBFs Proposals for the Next EC8 (part 2). *Journal of Constructional Steel Research*. 2017;138:17–37. https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2017.06.028

7. Шаторная А.М., Тарасов В.А., Барабаш А.В., Жувак О.В., Рыбаков В.А. Российские и зарубежные нормы сейсмического проектирования зданий и сооружений. *Alfabuild.* 2018;4(6):92–114. URL: https://alfabuild.spbstu.ru/article/2018.6.9/ (дата обращения: 15.06.2023).

8. Bojórquez J., Ruiz S. E., Ellingwood B., Reyes-Salazar A., Bojórquez E. Reliability-Based Optimal Load Factors for Seismic Design of Buildings. *Engineering Structures*. 2017;151:527–539. https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2017.08.046

9. Гладкий А.В., Топчиев А.Г., Димова Н.В., Шашеро А.Н., Яворская В.В., Нефедова Н.Е. и др. *Города и люди: актуальные проблемы урбанистики и социального развития.* Новосибирск: Ассоциация научных сотрудников «Сибирская академическая книга», 2015. 198 с.

10. Зейферт М.Г. *Архитектура Рима: преемственность и стили*. Казань: Изд-во Казанск. гос. архитект.-строит. ун-та; 2016. 230 с.

11. Левченко В.Н. Основные направления деятельности Национальной Ассоциации Производителей Автоклавного Газобетона. В: *Сборник трудов международной научно-практической конференции «Опыт производства и применения ячеистого бетона автоклавного твердения»*, Минск, 26–28 мая 2010 года. Минск: Стринко; 2010. С. 25–26.

12. Ruan S., Unluer C. Influence of Mix Design on the Carbonation, Mechanical Properties and Microstructure of Reactive MgO Cement-Based Concrete. *Cement and Concrete Composites*. 2017;80:104–114. https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2017.03.004

13. Избицкая Ю.С., Калошина С.В., Золотозубов Д.Г. Анализ дефектов и методы ремонта лицевого слоя кирпичной кладки многослойных стен на примере жилого дома в г. Перми. Construction and Geotechnics, 2019;10(4):40–50. https://doi.org/10.15593/2224-9826/2019.4.04

14. Лобанов И.А., Пухаренко Ю.В., Моргун Л.В. Особенности структуры и свойства безавтоклавных ячеистых бетонов, армированных синтетическими волокнами. *Бетон и железобетон*. 1983(9):12–14.

15. Лобанов И.А. *Основы технологии дисперсно армированных бетонов.* Автореф. дис. на соиск. учен. степ. д-ра техн. Наук. Ленинград; 1982. 34 с.

16. Пухаренко Ю.В. Реставрация и строительство: потенциал фиброармированных материалов и изделий. *Современные проблемы науки и образования.* 2012;(4):359 URL: https://science-education.ru/ru/article/view?id=6582 (дата обращения: 30.11.2022).

17. Кадомцева Е.Э., Моргун Л.В., Бескопыльная Н.И., Моргун В.Н., Бердник Я.А. Исследование влияния бимодульностифибропенобетона на прочность армированных балок. *Строительные материалы.* 2017(5):52–55.

18. Моргун В.Н., Моргун Л.В. Свойства пенобетонов при их дисперсном армировании полипропиленовыми и углеродными волокнами. Строительные материалы. 2022(9):50–54. https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-806-9-50-54

19. Моргун В.Н., Моргун Л.В. Обоснование одного из методов совершенствования структуры пенобетонов. *Строительные материалы.* 2018(5):24–26. https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-759-5-24-26

20. Моргун Л.В., Благородова Н.В., Бинь Ле. Повышение пожарной безопасности строительных конструкций. В: *Сб. тр. «Техносферная безопасность, надежность, качество, энерго- и ресурсосбережение»*. Вып. VIII, Ростов-на-Дону – Шепси, 2006. С. 468–470.

References

1. Debieva II. To Analyze the Innovative Opportunities of the Chechen Republic in the Field of Material Production. In: *Sovremennaya Ehkonomika: Aktual'nye Voprosy, Dostizheniya i Innovatsii: Proceedings of the XXXVII International Scientific Conference*. Penza: Nauka i Prosveshchenie Publ. (Individual Entrepreneur Gulyaev G.Yu.); 2020. P. 91–97. (In Russ.)

2. Donchenko OM, Karpovich NA. Shirokoe Primenenie Konstruktsionno-Teploizolyatsionnykh Betonov – Prioritetnoe Napravlenie Snizheniya Materialoemkosti i Povysheniya Ehffektivnosti Kapital'nogo Stroitel'stva. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2014(2):53–54. (In Russ.)

3. Arkhireeva IG, Zaalishvili ZV. About Impact on Economic After a Strong Earthquake. *Earthquake Engineering. Constructions Safety*. 2013(6):15–18. (In Russ.) URL: http://www.seismoconstruction.ru/articles/ob_ekonomicheskikh_aspektakh_posledstviy_silnogo_zemletryaseniya/ (accessed 07.06.2023).

4. Mkrtychev OV, Dorozhinskii VB, Sidorov DS. The History and Development Prospects of One of the Methods for Solving Multidimensional Problems of Structural Mechanics. *Vestnik MGSU*. 2015;10(12):66–75. (In Russ.) URL: https://www.vestnikmgsu.ru/jour/issue/viewIssue/92/89 (accessed: 15.06.2023).

5. Panasyuk LN, Kravchenko GM. Raschet karkasa monolitnogo zdaniya na progressiruyushchee razrushenie s uchetom dinamicheskikh ehffektov. In: *Stroitel'stvo – 2015: Sovremennye Problemy Stroitel'stva: Proceedings of the International Science and Practical Conference. Rostov-on-Don, 16–17 May, 2015*. Rostov-on-Don: FSBEI of HVE Rostov State Civil Engineering University; 2015. P. 456–459. (In Russ.)

6. Costanzo S, D'Aniello M, Landolfo R. Seismic Design Criteria for Chevron CBFs Proposals for the Next EC8 (part 2). *Journal of Constructional Steel Research*. 2017;138:17–37. https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2017.06.028

7. Shatornaya AM, Tarasov VA, Barabash AV, Zhuvak OV, Rybakov VA. Russian and Foreign Standards of Seismic Design of Buildings and Structures. Alfabuild. 2018;4(6):92–114. (In Russ.). URL: https://alfabuild.spbstu.ru/article/2018.6.9/ (accessed: 15.06.2023).

8. Bojórquez J, Ruiz SE, Ellingwood B, Reyes-Salazar A, Bojórquez E. Reliability-Based Optimal Load Factors for Seismic Design of Buildings. *Engineering Structures*. 2017;151:527–539. https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2017.08.046

9. Gladkii AV, Topchiev AG, Dimova NV, Shashero AN, Yavorskaya VV, Nefedova NE, et al. *Goroda i Lyudi: Aktual'nye Problemy Urbanistiki i Sotsial'nogo Razvitiya*. Novosibirsk: Assotsiatsiya Nauchnykh Sotrudnikov "Sibirskaya Akademicheskaya Kniga" Publ.; 2015. 198 p. (In Russ.)

10. Zeifert MG. *Arkhitektura Rima: Preemstvennost' i Stili*. Kazan: Kazan State University of Architecture and Engineering; 2016. 230 p. (In Russ.)

11. Levchenko VN. Osnovnye Napravleniya Deyatel'nosti Natsional'noi Assotsiatsii Proizvoditelei Avtoklavnogo Gazobetona. In: Proceedings of the International Science and Practical Conference "Opyt Proizvodstva i Primeneniya Yacheistogo Betona Avtoklavnogo Tverdeniya". Minsk, 26–28 May, 2010. Minsk: Strinko Publ.; 2010. P.25–26. (In Russ.)

12. Ruan S, Unluer C. Influence of Mix Design on the Carbonation, Mechanical Properties and Microstructure of Reactive MgO Cement-Based Concrete. *Cement and Concrete Composites*. 2017;80:104–114. https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2017.03.004

13. Izbitskaya YuS, Kaloshina SV, Zolotozubov DG. The Analysis of Defects and Repair Methods of the Front Layer of Brickwork of Multilayer Walls on the Example of a Residential Building in Perm. *Bulletin of PNRPU. Construction and Architecture*. 2019;10(4):40–50. (In Russ.) https://doi.org/10.15593/2224-9826/2019.4.04

14. Lobanov IA, Pukharenko YuV, Morgun LV. Osobennosti Struktury i Svoistva Bezavtoklavnykh Yacheistykh Betonov, Armirovannykh Sinteticheskimi Voloknami. *Beton i Zhelezobeton*. 1983(9):12–14. (In Russ.)

15. Lobanov IA. *Osnovy Tekhnologii Dispersno Armirovannykh Betonov*. Extended Abstract of Dr.Sci. (Engineering) Dissertation. Leningrad; 1982. 34 p. (In Russ.)

16. Pukharenko YuV. Restoration and Building: Capacity Fibroarmirovannyh Materials and Products. *Modern Problems of Science and Education*. 2012;(4).359. (In Russ.). URL: https://science-education.ru/ru/article/view?id=6582 (accessed: 30.11.2022).

17. Kadomtseva EEh, Morgun LV, Beskopyl'naya NI, Morgun VN, Berdnik YaA. Research in Influence of Bi-Modularity of Fiber Foam Concrete on Strength of Reinforced Beams. *Stroitel'nye materialy*. 2017;(5):52–55. (In Russ.)

18. Morgun VN, Morgun LV. Properties of Foam Concrete During Their Dispersed Reinforcement with Synthetic and Carbon Fibers. *Stroitel'nye materialy*. 2022(9):50–54. (In Russ.) https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-806-9-50-54

19. Morgun VN, Morgun LV. Substantiation of One of the Methods for Improving the Structure of Foam Concretes. *Stroitel'nye materialy*. 2018;(5):24–26. (In Russ.). https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-759-5-24-26

20. Morgun LV, Blagorodova NV, Bin' Le. Povyshenie Pozharnoi Bezopasnosti Stroitel'nykh Konstruktsii. In: *Tekhnosfernaya Bezopasnost', Nadezhnost', Kachestvo, Ehnergo- i Resursosberezhenie. Issue VIII*. Rostov-on-Don – Shepsi; 2006. P. 468–470. (In Russ.)

Поступила в редакцию 26.06.2023
Поступила после рецензирования 12.08.2023
Принята к публикации 20.08.2023

Об авторах:

Моргун Любовь Васильевна, профессор кафедры «Строительные материалы» инженерно-строительного факультета, ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), доктор технических наук, профессор, ScopusID, ORCID, konst-lvm@yandex.ru

Порохня Аксинья Сергеевна, ассистент кафедры «Строительные материалы» инженерно-строительного факультета, ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), магистр техники и технологии по направлению «Строительство», ORCID, baturaaksina@gmail.com

Заявленный вклад соавторов:

Л.В. Моргун — формирование концепции, цели и задач исследования, планирования и проведения экспериментальных исследований, анализ результатов, подготовка текста, формирование выводов.

А.С. Порохня — участие в подготовке материальной базы исследований, формовании образцов и анализе полученных результатов.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи

Received 26.06.2023
Revised 12.08.2023
Accepted 20.08.2023

About the Authors:

Lyubov V. Morgun, Dr.Sci.(Engineering), professor of the Building Materials Department of the Civil Engineering Faculty, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), ScopusID, ORCID, konst-lvm@yandex.ru

Aksinya S. Porokhnya, M.Sci. in Engineering and Technology (Civil Engineering), assistant of the Building Materials Department of the Civil Engineering Faculty, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), ORCID, baturaaksina@gmail.com

Claimed contributorship:

LV Morgun — formulating the concept, goals and objectives of the research, planning and conducting the experimental research, analysis of the results, preparing the text, formulating the conclusions.

AS Porokhnya — participation in preparing the material resources for the research, manufacturing the samples and analysing the results.

Conflict of interest statement: the authors do not have any conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.





УДК 624.05

Научная статья

https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-3-57-65



Опыт совершенствования профессиональной подготовки специалистов по организации строительства в Донском государственном техническом университете

А.Л. Жолобов ✉, **Е.А. Жолобова**

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

✉ info@rniiakh.ru

Аннотация
Введение. Профессиональные требования к специалистам по организации строительства (мастерам и прорабам) из года в год повышаются по мере появления новых строительных технологий, материалов, машин и оборудования. С введением в действие в нашей стране новых профессиональных стандартов у таких специалистов возникла потребность в приобретении дополнительных знаний, умений и навыков, необходимых для выполнения трудовых функций и действий, соответствующих уровню их квалификации. Поэтому поиск путей совершенствования профессиональной подготовки специалистов по организации строительства стал целью выполненного авторами исследования.
Материалы и методы. Для достижения указанной цели авторами разработан комплекс дополнительных мероприятий по подготовке специалистов по организации строительства. Он основан на совершенствовании компетенций, необходимых для их профессиональной деятельности. Комплекс мероприятий включает в себя начальный, промежуточный и завершающий этапы подготовки специалистов. Первый этап реализуется на первых трех курсах бакалавриата и специалитета по направлению «Строительство», а остальные два этапа — на старших курсах университета или после его окончания.
Результаты исследования. В статье представлен опыт работы по совершенствованию профессиональной подготовки специалистов по организации строительства в Донском государственном техническом университете. Содержится информация о применении в учебном процессе фото- и видеотестов, компьютерных симуляторов строительных машин, деловых игр, в том числе по монтажу строительных конструкций вне зоны видимости для крановщика, темников узких (проблемных) мест строительного производства, словаря строительного сленга, а также об организации работы научного студенческого кружка «Студенческий строительный контроль».
Обсуждение и заключение. Накопленный авторами опыт совершенствования профессиональной подготовки специалистов по организации строительства успешно применяется в Управлении дополнительного образования и на кафедре «Технология строительного производства» Донского государственного технического университета. Он может быть рекомендован для использования и в других университетах, осуществляющих обучение студентов по направлению «Строительство».

Ключевые слова: организация строительства, профессиональный стандарт, прораб, мастер, профессиональная подготовка

Для цитирования: Жолобов А.Л., Жолобова Е.А. Опыт совершенствования профессиональной подготовки специалистов по организации строительства в Донском государственном техническом университете. *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий*. 2023;2(3):57–65. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-3-57-65

Original article

Don State Technical University Experience of Enhancing Vocational Training of the Specialists in Organisation of Construction

Aleksandr L. Zholobov ✉, **Elena A. Zholobova**

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

✉ info@rniiakh.ru

Abstract
Introduction. Professional requirements set for the specialists in organisation of construction (job foremasters and foremen) grow from year to year along with the emergence of new building technologies, materials, machines and equipment.

After implementation of the new professional standards in our country, such specialists are urged to acquire the additional knowledge, abilities and skills necessary for fulfilling their job functions and activities in compliance with their proficiency level. Therefore, searching the ways of enhancing the vocational training of the specialists in organisation of construction has become the objective of the authors' research.
Materials and Methods. To achieve this objective, the authors have developed a series of additional activities for teaching the specialists in organisation of construction, based on improving the competencies required in their profession. This series of activities includes the initial, intermediate and final stages of vocational training. The initial stage is implemented during the first three years of bachelor and long first degree (specialist) programmes within direction of study "Construction" and the remaining two stages – during the last years of university study or after graduation.
Results. The article presents the Don State Technical University experience of enhancing vocational training of the specialists in organisation of construction. The article contains the information on integration into the educational process of the photo and video tests, construction machines simulators, business games (including the ones on erecting the building structures out of the crane operator's field-of-view), thematic references on difficult (challenging) issues of construction production, glossary of construction slang, as well as the information on organisation of the student scientific circle "Student construction control".
Discussion and Conclusion. The experience of enhancing vocational training of the specialists in organisation of construction accumulated by the authors is successfully implemented at the Continuing Education Department and the Production Technology in Construction Chair of Don State Technical University. It can be recommended for implementation in other universities where students of the direction of study "Construction" are educated.

Keywords: organisation of construction, professional standard, foreman, master, professional training

For citation. Zholobov AL, Zholobova EA. Don State Technical University Experience of Enhancing Vocational Training of the Specialists in Organisation of Construction. *Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning*. 2023;2(3):57–65. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-3-57-65

Введение. Известно, что успех производственной деятельности строительной организации во многом определяется квалификацией ее кадров, особенно руководителей среднего звена, то есть мастеров и прорабов. От их профессиональных качеств и добросовестности зависят не только темпы строительства, но и его качество, а также безопасность труда, рациональное расходование материальных, трудовых и энергетических ресурсов. Профессиональные требования к организаторам строительства из года в год растут по мере появления новых строительных технологий, материалов, машин и оборудования, повышения требований к качеству выполненных работ [1–4].

С введением в действие профессионального стандарта «Специалист по организации строительства» № 244, утвержденного приказом Министерства труда и социальной защиты РФ от 21 апреля 2022 г. № 231н, возникла потребность в приобретении обучающимися в университете по направлению «Строительство» дополнительных знаний, умений и навыков, необходимых для выполнения трудовых функций и действий, соответствующих пятому и шестому уровням квалификации таких специалистов.

Предлагаемые некоторыми негосударственными организациями услуги по подготовке прорабов на 72-часовых курсах повышения квалификации малоэффективны, так как сводятся к передаче только части требуемых знаний и не восполняют отсутствие у обучающихся базовых знаний, перечисленных в профессиональном стандарте.

Изучив возможные пути совершенствования профессиональной подготовки специалистов по организации строительства с целью удовлетворения их возросшей потребности в приобретении дополнительных знаний, авторы пришли к выводу, что такую подготовку целесообразно осуществлять:

– в университетах, имеющих кафедры технологии и организации строительства;

– комплексно в три этапа. Первый этап начальный — он должен быть доступен для студентов, обучающихся на 1–3 курсах бакалавриата или специалитета, участвующих в работе соответствующего научного студенческого кружка и целенаправленно выбравших элективный модуль. Второй и третий этапы, соответственно, промежуточный и завершающий, заключаются в профессиональной подготовке специалистов по организации строительства пятого уровня (мастеров) и шестого уровня квалификации (прорабов) из числа студентов старших курсов или выпускников университета;

– с участием высококвалифицированных преподавателей кафедр технологии и организации строительства, имеющих опыт работы в должности мастера и прораба.

Материалы и методы. Для достижения указанной цели на кафедре «Технология строительного производства» Донского государственного технического университета разработаны и на базе управления дополнительного образования университета реализуются программы повышения квалификации по подготовке специалистов

по организации строительства указанных уровней квалификации на основе совершенствования компетенций, необходимых для профессиональной деятельности [5].

Во время прохождения каждого модуля программы предусмотрена реализация деятельностного подхода, при котором вместе с получаемыми знаниями обучающиеся постепенно приобретают умения и навыки решения реальных практических задач [6, 7]. Таким образом, все, что формируется или разрабатывается в процессе обучения, нацелено на использование в практической деятельности специалиста по организации строительства. Изучение программ предусмотрено в соответствии с той последовательностью, которая обозначена в их содержании.

Программами подготовки специалистов по организации строительства предусмотрено проведение занятий в очной форме доцентами кафедры «Технология строительного производства», имеющими опыт работы в должности мастера и прораба. Проведение части лекционных занятий возможно с использованием дистанционных образовательных технологий. Кроме лиц, имеющих высшее образование, указанную подготовку могут пройти студенты старших курсов бакалавриата и специалитета по направлению «Строительство». Удостоверения о повышении квалификации им выдают одновременно с дипломом бакалавра или специалиста.

Для лучшего усвоения учебного материала программами предусмотрено применение ситуационного моделирования строительных процессов, деловых игр, компьютерных симуляторов строительной техники, фото- и видеоматериалов, веб-камер, установленных на строительных объектах, посещение строительных площадок, участие на отдельных занятиях прорабов строительных организаций.

Результаты исследования. В ходе выполненного исследования установлено, что подготовку студентов к профессиональной деятельности мастера и прораба лучше начинать уже с первого курса. Для этого авторами разработан и в 2022 году реализован элективный модуль «Основы изобретательской деятельности». На примерах из истории создания широко известных изобретений и с помощью приобретенных на практических занятиях навыков решения изобретательских задач у обучающихся, выбравших данный элективный модуль, вырабатываются уверенность в возможности совершенствования любых технических устройств, способов и материалов [8]. На занятиях студенты учатся быстро находить самые эффективные изобретения в международных базах данных и оформлять заявки на получение патентов на собственные изобретения и полезные модели.

Приобретенные в результате прохождения данного модуля знания, компетенции и грамотности позволят обучающимся успешно проявить свой творческий потенциал еще в университете и прибыть на будущее место работы не просто бакалавром или специалистом, но и признанным изобретателем, способным решать технические задачи различной степени сложности.

Изобретательская деятельность приносит творческому человеку не только моральное, но и материальное удовлетворение. Созданные им эффективные изобретения могут стать основой для организации собственного успешного бизнеса и его надежной защитой на многие годы от недобросовестной конкуренции.

При изучении строительных технологий и машин на практических занятиях и в домашних условиях студенты с помощью компьютерных симуляторов могут не только изучить функциональные возможности строительной техники (экскаваторов, бульдозеров, ковшовых погрузчиков, автобетоносмесителей, стреловых и башенных кранов), но и приобрести некоторые навыки управления ею [9–13]. При отсутствии профессиональных компьютерных симуляторов можно использовать общедоступные в Интернете программы, такие как «Bagger Simulator» и «Kran Simulator» [14].

На практических занятиях по дисциплине «Технологические процессы в строительстве» в каждой студенческой группе можно организовать импровизированные соревнования «экскаваторщиков», «бульдозеристов» и «крановщиков», моделировать различные условия производства работ (например, в стесненных условиях).

Особенно важно для мастера и прораба овладеть навыками организации работ по перемещению строительных грузов подъемными кранами, знать и правильно применять знаковую сигнализацию и голосовые команды, учитывая при этом некоторую инерционность работы крана и задержку выполнения команд крановщиком или другим монтажником в силу психофизиологических особенностей (реакции) человека. Обучаемые должны знать, что к осуществлению этой деятельности допускаются только специально аттестованные инженерно-технические работники, сдавшие серьезный экзамен по знанию «Правил безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения»[1], утвержденных приказом Ростехнадзора от 26.11.2020 г. № 461.

На занятиях по программе повышения квалификации будущим мастерам и прорабам предлагается поучаствовать в деловой игре «Монтаж строительных конструкций вне зоны видимости для крановщика» [15, 16]. Участники процесса в количестве трех человек располагаются в аудитории, оснащенной компьютером, мультимедийным проектором и экраном (рис. 1).

[1] Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения. М.: Норматика; 2023. 80 с.

Рис. 1. Схема расположения в аудитории участников деловой игры «Монтаж строительных конструкций вне зоны видимости для крановщика»

У обучаемого, выполняющего функцию крановщика (К), имеется доступ только к клавиатуре компьютера, от которого на экран с помощью мультимедиапроектора проецируется изображение монтажной площадки.

Экран монитора компьютера при этом закрыт, то есть действия крановщика осуществляются «вслепую» по подсказке обучаемого, выполняющего роль одного из двух монтажников ($М_2$), который не может видеть процесс монтажа на экране, но видит располагаемого перед экраном первого монтажника ($М_1$), подающего ему знаковые сигналы о направлении и скорости необходимого перемещения груза

Результат выполнения задания по «монтажу конструкций» оценивается по скорости его выполнения, правильности подачи «монтажниками» знаковых сигналов и голосовых команд, количеству затраченных попыток установить перемещаемую конструкцию в проектное положение.

К другим эффективным средствам, применяемым в университете при профессиональной подготовке специалистов по организации строительства, можно отнести разработанные авторами фототесты, с помощью которых по фотоснимкам строительных процессов и конструкций можно быстро оценить не только знания обучающихся, но и приобретенные ими навыки и умения [17–20]. Так, например, в бакалавриате третьим пунктом экзаменационного билета по дисциплине «Технологические процессы в строительстве» студенту предлагается по контрольному фотоснимку строительного процесса или готовой строительной конструкции выявить допущенный дефект или нарушение правил производства работ, указать их причины и предложить рациональный метод устранения выявленного дефекта. Для будущих прорабов в настоящее время авторами разрабатываются фототесты по специальным строительным работам (санитарно-техническим и электротехническим).

Контрольные фотоснимки сгруппированы в фототаблицы по видам строительных работ и ранжированы по сложности на четыре уровня: три самых низких уровня сложности (по мере возрастания) соответствуют оценкам «удовлетворительно», «хорошо» и «отлично», а самый высокий — профессиональному уровню мастера или прораба.

Дистанционная работа в период пандемии позволила авторам выработать новый подход к преподаванию технологических дисциплин. Так, в качестве задания к практической работе обучающимся предлагалось просмотреть несколько одно-трехминутных фрагментов видеофильмов, демонстрирующих какой-либо строительный процесс. Предварительно вместе со ссылкой для скачивания фильмов студенту высылалась подборка выписок из сводов правил и других документов системы стандартизации, регламентирующих порядок производства представленных на видеофрагменте строительных работ. Студентам давалось задание перечислить допущенные нарушения строительной технологии, сославшись на конкретный пункт свода правил или ГОСТа.

Опыт применения видеотестов показал, что такие практические работы вызывают интерес не только у самих обучающихся, но и их родственников, работающих в строительстве. Сами студенты при этом приобретают уверенность в полезности приобретенных ими знаний, умений и навыков.

Еще одним реализованным способом совершенствования профессиональной подготовки специалистов по организации строительства стал созданный на кафедре «Технология строительного производства» научный студенческий кружок «Студенческий строительный контроль». Организация работы кружка построена таким образом, что в нем могут участвовать все студенты, кроме обучающихся на первом курсе бакалавриата и специалитета.

Студенты второго курса, по мере изучения дисциплины «Строительные материалы», с помощью руководителя кружка учатся идентифицировать использованные в строительных конструкциях материалы и проверять их на соответствие проекту. К наиболее простым для членов кружка задачам можно отнести определение видов использованного кирпича, кладочного и штукатурного растворов, кровельных, теплоизоляционных и некоторых отделочных материалов. Студенты начинают осознавать важность своевременного выявления несогласованной замены материалов для предотвращения интенсивного физического износа строительных конструкций, преждевременного их разрушения или отказа.

На третьем курсе, изучая дисциплины «Технологические процессы в строительстве» и «Основы технологии возведения зданий», члены кружка могут выявлять нарушения технологии и строительные дефекты. Примером такой успешной деятельности студентов третьего курса университета стало массовое выявление брака, допущенного строителями при замене ступеней лестниц на спусках в подземные переходы на ул. Большая Садовая в г. Ростове-на-Дону. На этих объектах было выявлено сразу три вида дефектов: допущено несоблюдение требований по величине и направлению уклона ступеней[2], а также по их ширине.

То есть оказалось, что эти сооружения (подземные переходы) не в полной мере удовлетворяют требованиям федерального закона от 30.12.2009 № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»[3], так как в холодное время стало возможным обледенение ступеней со всеми вытекающими последствиями.

Студенты старшего курса бакалавриата и специалитета, особенно те, которые обучаются по профилю «Промышленное и гражданское строительство», изучив различные строительные конструкции и нормы их проектирования, на занятиях кружка учатся выявлять ошибки в проектной документации. Там они обмениваются первым приобретенным опытом, ведут дискуссии, возникающие на строительных интернет-форумах.

Поступая в магистратуру, студенты могут оставаться в составе кружка, но задачи, которые им становятся посильны, распространяются и на документы системы стандартизации (своды правил, ГОСТы, ГЭСНы и др.). Выявлению ошибок и подготовке предложений по их устранению в указанных документах студенты могут посвящать свои магистерские диссертации.

На завершающей стадии обучения по программе повышения квалификации «Подготовка специалистов по организации строительства пятого (шестого) уровня квалификации» обучающимися выполняется итоговая работа по индивидуальному заданию, заключающаяся в анализе сложившейся на конкретном объекте организации строительства и подготовке предложений, например, по совершенствованию складирования строительных материалов и изделий, по более эффективному использованию строительной техники, улучшению условий труда и быта строителей или по повышению производительности труда на объекте.

Следует отметить, что такая профессиональная подготовка специалистов уже в первый день их работы на строительной площадке несколько озадачивает работодателей (опытных прорабов и мастеров) умением быстро оценивать производственную ситуацию и предлагать конкретные и эффективные решения по ее исправлению.

Вполне оправдало себя создание и постоянное обновление на кафедре «Технология строительного производства» темника узких (проблемных) мест в строительном производстве. Используя этот темник, студенты могут выбрать актуальные темы для своей выпускной квалификационной работы и докладов на студенческих конференциях. На найденные принципиально новые конструктивно-технологические решения студенты могут оформить заявку и получить патент на полезную модель или даже на изобретение еще до окончания обучения в университете, так как сроки рассмотрения заявок в Роспатенте в последние годы существенно сократились.

Используя предоставленный Министерством строительства, архитектуры и территориального развития Ростовской области свободный доступ к действующим на возводимых объектах капитального строительства веб-камерам, студенты могут в режиме реального времени наблюдать за ходом строительства, оценивать уровень организации работ, выявлять потери времени и резервы повышения производительности, случаи неэффективного использования строительной техники и трудовых ресурсов.

Профессиональная подготовка специалистов по организации строительства предусматривает изучение строительного сленга, словарь которого составляется на кафедре «Технология строительного производства».

Обсуждение и заключение. Реализуемый в Донском государственном техническом университете комплекс мероприятий по совершенствованию профессиональной подготовки специалистов по организации строительства позволяет не только удовлетворить потребность обучающихся в приобретении дополнительных знаний, умений и навыков, необходимых для выполнения трудовых функций и действий, соответствующих профессиональному

[2] СП 82.13330.2016. Благоустройство территорий. Актуализированная редакция СНиП III-10-75. М.: Центрмаг; 2023. 50 с.
[3] Технический регламент о безопасности зданий и сооружений. М.: Центрмаг; 2023. 40 с.

стандарту, но и повысить заинтересованность строительных организаций в более тесном сотрудничестве с университетом в части:

– периодического (один раз в пять лет) тестирования работников строительных организаций, являющихся специалистами по организации строительства;

– подготовки более квалифицированных специалистов с проверкой их профессиональных способностей еще на стадии обучения во время производственной или преддипломной практики;

– создания и постоянного обновления темника узких, то есть проблемных мест в строительном производстве и организации творческой работы по их устранению.

При этом более активно привлекаются преподаватели университета, имеющие опыт работы в должности мастера или прораба в строительных организациях.

Накопленный авторами опыт совершенствования профессиональной подготовки специалистов по организации строительства успешно применяется в Управлении дополнительного образования и на кафедре «Технология строительного производства» Донского государственного технического университета, свидетельствуя о целесообразности использования этого опыта и в других университетах, осуществляющих обучение студентов по направлению «Строительство».

Список литературы

1. Богданов В.Ф., Алексеева Г.Н., Петрова И.В. Особенности нового профессионального стандарта «Специалист по организации строительства». В: *Материалы VI Междунар. (XII Всероссийской) конф. «Строительство и застройка: жизненный цикл — 2022»*. Чебоксары: ООО «Издательский дом «Среда»; 2022. С. 369–375.

2. Одарич И.Н. Уровни квалификации в профессиональных стандартах строительной области. *Балтийский гуманитарный журнал.* 2017;6(3(20)):240–243. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/urovni-kvalifikatsii-v-professionalnyh-standartah-stroitelnoy-oblasti/viewer (дата обращения: 06.09.2023).

3. Одарич И.Н. Анализ требований профессионального стандарта к специалисту по организации строительства. *Азимут научных исследований: педагогика и психология.* 2022;11(4(41)):24–26. URL: https://landrailpip.ru/wp-content/uploads/2023/04/ANI-PiP-2022-4.pdf (дата обращения: 02.09.2023).

4. Одарич И.Н., Коростелев А.А. Проведение независимой оценки квалификации в форме профессионального экзамена. *Балтийский гуманитарный журнал.* 2017;6(4(21)):355–358. URL: https://landrailbgz.ru/wp-content/uploads/2023/04/BGZ-2017-4.pdf (дата обращения: 03.09.2023).

5. *Жолобов А.Л., Жолобова Е.А.* Особенности профессиональной подготовки прорабов в университете. В: *Материалы Всероссийской (национальной) науч.-практ. конф. «Актуальные проблемы науки и техники*. Ростов-на-Дону: ДГТУ; 2022. С. 806–807.

6. Тятых С.А., Тятых Т.Н., Клепикова М.В. Системно-деятельностный подход как средство реализации современных целей образования. В: *Сб. науч. тр. по материалам XXXVII Междунар. науч.-практ. конф. Развитие науки и образования: новые подходы и актуальные исследования*. Анапа: Изд-во «НИЦ ЭСП» в ЮФО; 2023. С. 42–49.

7. Крылова М.Н. Оптимальная организация обучения как условие формирования профессиональных компетенций. *Перспективы науки и образования.* 2014;1:107–111. URL: https://pnojournal.files.wordpress.com/2014/02/pdf_140118.pdf (дата обращения: 03.09.2023).

8. Фомин Н.И., Лысова Ю.Д. *Разработка и защита технических решений в строительстве.* Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та; 2020. 156 с.

9. Малая Н.В., Жолобова Е.А. Перспективы применения компьютерных симуляторов на практических занятиях по дисциплине «Технологические процессы в строительстве». В: *Педагогическое мастерство и педагогические технологии: материалы V Междунар. науч.-практ. конф*. 2015. С. 96–99. URL: https://interactive-plus.ru/ru/article/11840/discussion_platform (дата обращения: 07.09.2023).

10. Асратян Н.М. Компьютерные тренажеры (симуляторы): принципы работы и использования в промышленности и образовании. *Вестник НГПУ.* 2022;3(38):31–33. URL: https://goo.su/Pw3RP5 (дата обращения: 05.09.2023).

11. Дозорцев В.М. Будущее компьютерного тренинга: от формирования отдельных навыков к управлению компетенциями операторов. *Автоматизация в промышленности.* 2022(9):3–9. https://doi.org/10.25728/avtprom.2022.09.01

12. Мокрецова Л.О., Маняхин Ф.И. Компьютерные тренажеры как универсальное средство получения практических навыков инженерной подготовки. *Современное образование: содержание, технологии, качество.* 2022;1:62–64.

13. Литвинов В.А. Компьютерные тренажеры как средство эффективного формирования компетенций обучающихся. *Вестник БЮИ.* 2020;1(38):210–212.

14. Ляшенко Ю.М., Ляшенко А.Ю., Ревякина Е.А. Применение компьютерных тренажеров в образовательном процессе машинистов одноковшовых экскаваторов как инструмент повышения уровня показателей функционального статуса. В: *Материалы V национальной науч.-практ. конф. «Современные прикладные исследования»*. Новочеркасск: ЮРГТУ; 2021. С. 236–242.

15. Жолобов А.Л., Жолобова Е.А. Перспективы развития кафедр строительного производства в политехнических университетах. В: *Новая наука: Стратегии и векторы развития: сб. трудов междунар. науч.-практ. конф*. Челябинск; 2016(1-2). С. 131–133.

16. Хвостов В.А. Повышение эффективности дополнительного образования на основе компьютерных тренажеров. В: *Сборник научных трудов «Учебный процесс в техническом вузе»*. Брянск; 2020. С. 223–228.

17. Жолобов А.Л., Мамонова О.А. Разработка фототестов для проверки соответствия уровня квалификации рабочих-строителей профессиональным стандартам. В: *Материалы Всероссийской (национальной) науч.-практ. конф. «Актуальные проблемы науки и техники»*. Ростов-на-Дону: ДГТУ; 2022. С. 807–808.

18. Соколова Л.В., Молчанова А.В. Тестирование как эффективный метод оценивания качества учебных достижений студентов. *Развитие образования.* 2021;4(4):27–33. https://doi.org/10.31483/r-100655

19. Соловьёв В.П., Перескокова Т.А. Педагогические аспекты оценивания знаний и умений студентов в техническом вузе. *Образовательные технологии.* 2020(1):125–136. URL: https://www.iedtech.ru/journal/2020/1/assessment-of-students-knowledge/ (дата обращения: 07.09.2023).

20. Соколовский С.С., Спесивцева Ю.Б. Методика повышения эффективности оценивания знаний студентов. *Профессиональное образование.* 2022;1(47):55–59.

References

1. Bogdanov VF, Alekseeva GN, Petrova IV. Features of the New Professional Standard "Specialist in the Organization of Construction". In: *Proceedings of the VI International (XII All-Russian) Conference "Construction and Development: Life Cycle – 2022"*. Cheboksary: "Sreda" Publ.; 2022. P. 369–375. (In Russ.).

2. Odarich IN. Levels of Qualification in Professional Standards of the Construction Area. *Baltic Humanitarian Journal*. 2017;6(3(20)):240–243. (In Russ.). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/urovni-kvalifikatsii-v-professionalnyh-standartah-stroitelnoy-oblasti/viewer (accessed: 06.09.2023).

3. Odarich IN. Analysis of the Requirements of a Professional Standard for a Specialist in the Organization of Construction. *Azimuth of Scientific Research: Pedagogy and Psychology*. 2022;11(4(41)):24–26. (In Russ.). URL: https://landrailpip.ru/wp-content/uploads/2023/04/ANI-PiP-2022-4.pdf (accessed: 02.09.2023).

4. Odarich IN, Korostelev AA. Conducting Independent Evaluation of Qualification in the Form of Professional Examination. *Baltic Humanitarian Journal*. 2017;6(4(21)):355–358. (In Russ.). URL: https://landrailbgz.ru/wp-content/uploads/2023/04/BGZ-2017-4.pdf (accessed: 03.09.2023).

5. Zholobov AL, Zholobova EA. Osobennosti Professional'noi Podgotovki Prorabov v Universitete. In: *Proceedings of the All-Russian (National) Science and Practical Conference "Topical Problems of Science and Technology"*. Rostov-on-Don: DSTU Publ.; 2022. P. 806–807. (In Russ.).

6. Tyatykh SA, Tyatykh TN, Klepikova MV. Sistemno-Deyatel'nostnyi Podkhod Kak Sredstvo Realizatsii Sovremennykh Tselei Obrazovaniya. In: *Proceedings of XXXVII International Science and Practical Conference. Razvitie Nauki i Obrazovaniya: Novye Podkhody i Aktual'nye Issledovaniya*. Анара: «Sience Research Center EhSP» Publ. in South Federal District; 2023. P. 42–49. (In Russ.).

7. Krylova MN. Optimal Organization of Education as a Condition of Formation of Professional Competences. *Perspectives of Science and Education*. 2014;1:107–111. (In Russ.). URL: https://pnojournal.files.wordpress.com/2014/02/pdf_140118.pdf (accessed: 03.09.2023).

8. Fomin NI, Lysova YuD. *Razrabotka i Zashchita Tekhnicheskikh Reshenii v Stroitel'stve. Ekaterinburg*: Ural Federal University; 2020. 156 p. (In Russ.).

9. Malaya NV, Zholobova EA. Perspektivy Primeneniya Komp'yuternykh Simulyatorov na Prakticheskikh Zanyatiyakh po Distsipline "Tekhnologicheskie Protsessy v Stroitel'stve". In: *Pedagogicheskoe Masterstvo i Pedagogicheskie Tekhnologii*. 2015;3(5):96–99. (In Russ.). URL: https://interactive-plus.ru/ru/article/11840/discussion_platform (accessed: 07.09.2023).

10. Asratyan NM. Computer Training Devices (Simulators): Principles of Operation and Application in Industry and Education. *Bulletin of Naberezhnye Chelny State Pedagogical University*. 2022;3(38):31–33. (In Russ.). URL: https://goo.su/Pw3RP5 (accessed: 05.09.2023).

11. Dozortsev VM. Budushchee Komp'yuternogo Treninga: ot Formirovaniya Otdel'nykh Navykov k Upravleniyu Kompetentsiyami Operatorov. *Automation in Industry*. 2022;(9):3–9. (In Russ.). https://doi.org/10.25728/avtprom.2022.09.01

12. Mokretsova LO, Manyakhin FI. Computer Simulators as a Universal Means of Obtaining Practical Skills of Engineering Training. *Sovremennoe Obrazovanie: Soderzhanie, Tekhnologii, Kachestvo*. 2022;1:62–64. (In Russ.).

13. Litvinov VA. Komp'yuternye Trenazhery kak Sredstvo Ehffektivnogo Formirovaniya Kompetentsii Obuchayushchikhsya. *Bulletin of Barnaul Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation*. 2020;(1(38)):210–212. (In Russ.).

14. Lyashenko YuM, Lyashenko AYu, Revyakina EA. The Use of Computer Simulators in the Educational Process of Single-Bucket Excavator Drivers as a Tool for Improving the Level of Functional Status Indicators. In: *Proceedings of Vth National Science and Practical Conference "Sovremennye prikladnye issledovaniya"*. Novocherkassk: South-Russian State Polytechnic University (NPI) Publ.; 2021. P. 236–242. (In Russ.).

15. Zholobov AL, Zholobova EA. Perspektivy Razvitiya Kafedr Stroitel'nogo Proizvodstva v Politekhnicheskikh Universitetakh. *Novaya nauka: Strategii i vektory razvitiya*. 2016;(1-2):131–133. (In Russ.).

16. Khvostov VA. Povyshenie Ehffektivnosti Dopolnitel'nogo Obrazovaniya na Osnove Komp'yuternykh Trenazherov. In: *Collection of Scientific Papers "Uchebnyi Protsess v Tekhnicheskom Vuze"*. Bryansk; 2020. P. 223–228. (In Russ.).

17. Zholobov AL, Mamonova OA. Razrabotka Fototestov dlya Proverki Sootvetstviya Urovnya Kvalifikatsii Rabochikh-Stroitelei Professional'nym Standartam. In: *Proceedings of the All-Russoan (National) Science and Practical Conference "Topical Problems of Science and Technology"*. Rostov-on-Don: DSTU Publ.; 2022. P. 807–808. (In Russ)

18. Sokolova LV, Molchanova AV. Testing as an Effective Method for Assessing the Quality of Students' Training Achievements. *Development of Education*. 2021;4(4):27–33. (In Russ.). https://doi.org/10.31483/r-100655

19. Solov'ev VP, Pereskokova TA. Pedagogicheskie Aspekty Otsenivaniya Znanii i Umenii Studentov v Tekhnicheskom Vuze. *Obrazovatel'nye tekhnologii*. 2020;(1):125–136. (In Russ.). URL: https://www.iedtech.ru/journal/2020/1/assessment-of-students-knowledge/ (accessed: 07.09.2023).

20. Sokolovskii SS, Spesivtseva YuB. Metodika Povysheniya Ehffektivnosti Otsenivaniya Znanii Studentov. *Professional Education*. 2022;(1):55–59. (In Russ.).

Поступила в редакцию 10.09.2023
Поступила после рецензирования 20.09.2023
Принята к публикации 25.09.2023

Об авторах:

Жолобов Александр Леонидович, доцент кафедры «Технология строительного производства» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, доцент, ScopusID, ORCID, info@rniiakh.ru

Жолобова Елена Александровна, доцент кафедры «Технология строительного производства» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, ScopusID, ORCID, Elena@rniiakh.ru

Заявленный вклад соавторов:

А.Л. Жолобов — формирование рабочей гипотезы, цели и задачи исследования, подготовка текста, формирование выводов.

Е.А. Жолобова — обзор литературных источников, анализ и обобщение результатов исследования, доработка текста, оформление иллюстрации.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи

Received 10.09.2023
Revised 20.09.2023
Accepted 25.09.2023

About the Authors:

Aleksandr L. Zholobov, Cand.Sci. (Engineering), associate professor of the Production Technology in Construction Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), ScopusID, ORCID, info@rniiakh.ru

Elena A. Zholobova, Cand.Sci. (Engineering), associate professor of the Production Technology in Construction Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), ScopusID, ORCID, Elena@rniiakh.ru

Claimed contributorship:

AL Zholobov — formulating the operational hypothesis, aims and objectives of the research, preparing the text, drawing up the conclusions.

EA Zholobova — literature sources review, analysis and synthesis of research results, refining the text, design of illustrations.

Conflict of interest statement: the authors do not have any conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.





УДК 7.71

Научная статья

https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-3-66-73



Особенности развития планировочной структуры и формирования застройки жилых образований южных городов (на примере г. Ростова-на-Дону)

Т.А. Бондаренко ✉, **А.М. Воробьева**

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

✉ rostland@mail.ru

Аннотация

Введение. В настоящее время в практике российского градостроительства не существует конкретных параметров пространственных и средовых характеристик для застройки и развития многофункциональной территории города. Отсутствие методики стратегий развития и планирования городского пространства с точки зрения урбанистики, экологии, экономики ведет к деградации понимания устойчивого развития городской среды и комфортности урбанизированного пространства для каждого климатического пояса. Целью научного исследования является выявление основных принципов развития жилых территорий крупных городов юга России в современных условиях. Данные вопросы с учетом природных факторов и региональных особенностей до настоящего времени не рассматривались.

Материалы и методы. В исследовании был проведен сравнительный анализ развития жилых районов на территориях приречных городов юга России; комплексный системный анализ эволюции архитектурно-планировочных и ландшафтных особенностей этих территорий и приемов их застройки с использованием графоаналитических методов.

Результаты исследований. Проведенные исследования позволили выявить особенности планировочной структуры крупных приречных городов юга России (Ростов-на-Дону, Волгоград, Краснодар), а также принципы развития их планировочной структуры в зависимости от ландшафтных факторов и особенностей временных исторических периодов. В результате анализа отечественного и зарубежного опыта проектирования и застройки жилых образований выявлены современные тенденции их формирования, которые в настоящее время не получили теоретического выражения. Результаты исследования позволили сформулировать современные принципы функционально-планировочной организации жилых образований приречных городов юга России с учетом комфортности среды для проживания населения.

Обсуждение и заключение. На основании проведенных исследований впервые предложена концептуальная модель функционально-планировочной организации и застройки жилых территорий приречных городов южного региона, что позволит повысить комфортность проживания населения, архитектурно-художественный и ландшафтный облик жилых территорий.

Ключевые слова: город, жилая застройка, квартал, микрорайон, транспорт

Для цитирования. Бондаренко Т.А., Воробьева А.М. Особенности развития планировочной структуры и формирования застройки жилых образований южных городов (на примере г. Ростова-на-Дону) *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий*. 2023;2(3):66–73 https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-3-66-73

Original article

Features of the Planning Structure Development of the Residential Areas of the Southern Cities and Building Thereof (by the Example of Rostov-on-Don)

Tatyana A. Bondarenko ✉, **Aleksandra M. Vorobyeva**

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

✉ rostland@mail.ru

Abstract

Introduction. Within the current Russian urban planning practices, there is no any specific criteria for the spatial and environmental characteristics of building or development of the multifunctional urban territory. The lack of methodology for the strategies of urbanistic, ecological and economic development and planning of the urban space leads to deteriorated understanding of the urban environment sustainable development and urbanised space comfort of any climate zone. The aim of this scientific research is to identify the main principles of the residential areas development in the major cities of the south of Russia in the current conditions. So far, these issues have not been studied in relation to the environmental factors and regional features.

Materials and Methods. The research included the comparative analysis of the residential areas development in the riverine cities of the south of Russia, the comprehensive system analysis of these areas' architectural, planning and landscape features evolution along with the approaches to building thereof by applying the graph-analytical methods.

Results. The conducted research elucidated the planning structure features of the major riverine cities of the south of Russia (Rostov-on-Don, Volgograd, Krasnodar), as well as the principles of their planning structure development depending on the landscape factors and historical periods specifics. After analysis of the national and foreign experience in designing and building the residential areas, the modern trends inducing thereof have been distinguished, which are not yet theoretically substantiated at present. The research results made it possible to formulate the modern principles of functional and planning organisation of the residential areas in the riverine cities of the south of Russia, taking into account the comfort of the living environment for population.

Discussion and Conclusion. Based on the conducted research, a conceptual model of functional and planning organisation and building the residential areas in the riverine cities of the southern region has been proposed for the first time. It can improve the comfort of people's living and enhance the architectural, artistic and landscape look of the residential areas.

Keywords: city, building the residential area, city block, micro district, transport

For citation. Bondarenko TA, Vorobyeva AM. Features of the Planning Structure Development of the Residential Areas of the Southern Cities and Building Thereof (by the Example of Rostov-on-Don). *Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning*. 2023;2(3).66–73. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-3-66-73

Введение. В настоящее время при покупке жилья люди рассматривают в предложениях строительных компаний не только планировку и этаж, на котором размещается квартира, но и окружение (наличие объектов обслуживания, школы или детского сада, расположение относительно места работы, наличие мест отдыха на озелененном участке территории и т. п.). В целом можно сформулировать требования к проживанию людей одним понятием — «комфортность среды».

Комфортность среды для человека складывается из экологических показателей на проживаемой территории, степени ее урбанизации и предоставления социальных услуг, архитектурно-художественного образа и других показателей. В Градостроительном кодексе прописано положение о необходимости обеспечения «…безопасности и благоприятных условий для жизнедеятельности человека» на урбанизированных территориях[1].

В настоящее время градостроителями активно обсуждаются вопросы принципов застройки современных жилых городских территорий в связи с тем, что наблюдается тенденция многоэтажного строительства даже в исторических кварталах, как, например, в Ростове-на-Дону [1]. В погоне за сверхприбылью мы разрушаем историческую среду, а на новых застроенных участках возникают поля из высоток с транспортными проблемами и низким уровнем решения социальных вопросов.

[1] Градостроительный Кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 N 190-ФЗ (ред. от 29.12.2022)

Обсуждение общественностью современных требований к жилым территориям не случайно [2, 3]. На сегодняшний день не сформулированы требования к проектированию современных жилых территорий в городских условиях, в то время как правки в нормативные документы вносятся регулярно. И уже есть построенные жилые образования по «неутвержденным» стандартам, в которых используются принципы совмещения квартальной и смешанной застройки.

Целью данного исследования является рассмотрение исторических этапов формирования застройки приречных городов юга России и выявление современных урбанистических особенностей планировки и застройки жилых территорий этих городов во времени и пространстве, определяющих их благоприятные условия для проживания населения.

Материалы и методы. В исследовании применены методы комплексного системного анализа эволюции архитектурно-планировочных и ландшафтных особенностей жилых территорий приречных городов юга России, их функциональной организации, формирования жилой застройки и функционального использования. Изучение современного опыта проектирования и строительства жилых образований в городской структуре позволило выявить тенденции их формирования и сформулировать основные принципы их проектирования. Использование комплексного подхода в сочетании с элементами факторного и системного анализа потребовало постановки самых различных задач: изучение архивных источников, научно-методической базы; натурное обследование жилых кварталов и микрорайонов и их застройки; фотофиксация, обмеры и зарисовки; обработка и анализ проектных материалов; графическое моделирование; экспериментальное проектирование.

Результаты исследований. Анализ планировки и застройки территории приречных городов южного региона показал, что современные приречные города, такие как Ростов-на-Дону[2], Краснодар, Волгоград, прошли определенный путь развития. Особенности их планировочной структуры во многом определяются временным периодом и особенностями приречного ландшафта их территорий [4, 5].

Все рассмотренные приречные города возникали как пограничные крепости, постепенно разрастающиеся в жилые поселения. На ранних этапах своего развития планировочная структура городов имела линейный характер. К началу XIX в. планы этих городов представляли собой систему взаимно-перпендикулярных улиц с одной или двумя основными планировочными осями. В дальнейшем природный ландшафт территорий и технические возможности определили направления развития городов. Так, например, наличие многочисленных оврагов ограничили возможности глубинного развития города Волгоград (Царицын — с 1555 г., Сталинград — с 1925 г.). Долгое время регулярная планировка с квартальной застройкой сохранялась. В послевоенный период начался период активного строительства. Коренным образом была изменена историческая планировка улиц. Началась застройка монументальными зданиями в стиле «сталинский ампир», который сохранен до наших дней. После присоединения к городу других населенных пунктов и острова Сарпинский линейная структура города сохранилась. Протяженность города составила до 65–70 км при ширине 5 км. Линейная планировочная структура определила необходимость строительства веток скоростного трамвая.

Город Краснодар (Екатеринодар — с 1793 г.) застраивался вдоль извилистой реки Кубань. Центральная часть города имеет регулярную планировочную структуру с нарезкой исторических кварталов. Малое количество населения не требовало развития городских территорий. Освоение левобережной части реки Кубань началось в начале XX века. Город приобрел компактную конфигурацию. А с 1970–1980 годов началась нарезка микрорайонов с массовой жилой застройкой многоэтажными домами. Возникли новые микрорайоны: Комсомольский, Гидростроители, Фестивальный, Юбилейный и др. В последние годы город Краснодар относится к числу лидеров по строительству жилья наряду с Москвой и Санкт-Петербургом.

Город Ростов-на-Дону в исторической части сохраняет четкую нарезку кварталов в прибрежной части реки Дон. Его протяженный центр со сложившейся системой площадей получил развитие как в XIX веке, так и в начале XX века. В дальнейшем принцип квартальной застройки сохранялся. Развитие технических возможностей, индустриализация страны, прокладка железной дороги в городе Ростове-на-Дону определили его глубинное развитие в северном и восточном направлении. В 1950–1960 годах в западной части окраины города застраивается Западный жилой массив с микрорайонной застройкой. Размещение промышленности и организация здесь 2-х промышленных зон определили продолжение микрорайонной застройки в течение многих лет. Сейчас в структуре Западного жилого массива насчитывается 16 микрорайонов. Концепция микрорайонной застройки в стране в целом была обусловлена историческими факторами, связанными с необходимостью обеспечения жильем рабочего населения. В самостоятельные градостроительные единицы выделены центр жилого района и районный парк «Плевен». Впоследствии в городе было построено еще несколько современных жилых районов: Северный жилой массив, Левенцовский жилой район, Суворовский жилой район и др.

[2] Проекты планировки расчетно-градостроительных районов центральной части города Ростова-на-Дону в границах: пр. Сиверса, ул. Текучева, пр. Театральный, ул. Береговая до балки Кизитериновская, южная граница — береговая линия реки Дон / 402-07-ОПЗ, Ростов-на-Дону, 2008 год.

Таблица 1

Общая характеристика обследованных жилых территорий и их застройки в г. Ростове-на-Дону

Планировка квартала	Время застройки	Характеристика
	Историческая застройка XIX в.	Четкое прямоугольное очертание кварталов. Застройка периметральная. Ограниченное дворовое пространство или его отсутствие. Отсутствие озеленения.
	Застройка начала XX в.	Четкое прямоугольное очертание кварталов. Застройка кварталов периметральная. Развитое дворовое пространство. Разделение территории кварталов на функциональные зоны. Наличие озелененных пространств.
	Микрорайонная застройка XX в.	Не имеет прямоугольной сетки улиц. Свободный принцип застройки территории. Большое дворовое пространство, не имеющее конкретных границ. Высокая плотность озеленения территории. Неприспособленность территории к высокому росту количества личного автотранспорта. Наличие объектов культурно-бытового обслуживания. Размещение на первых этажах объектов торгово-бытового обслуживания.
	Смешанная застройка XX в.	Планировочное решение зависит от размера территории под застройку. Наличие собственного дворового пространства. Наличие объектов культурно-бытового обслуживания в пешеходной доступности. Размещение на первых этажах объектов торгово-бытового обслуживания.

Таким образом, анализ развития планировочной структуры приречных городов юга России показал, что ландшафтные факторы определяют планировочное развитие города, но с течением времени они перестают играть в этом процессе доминирующую роль. Новые жилые образования имели различные начертания и нормируемые размеры микрорайонов (от 10 до 60 га).

Анализ застройки жилых территорий в городе Ростове-на-Дону показал, что в зависимости от времени формирования застройки архитекторами принимались соответствующие решения (таблица 1). Так, например, исторические кварталы центра города Ростова-на-Дону имеют четкое прямоугольное очертание с размерами в пределах от 50 до 200 метров. При застройке фасады были ориентированы на прилегающие улицы и имели периметральный характер. Здания обслуживались с прилегающих к ним улиц. Дворы оставались бестранспортными. И сейчас здесь сохранено много памятников культурного наследия государственного и регионального значения. Жилая территория застроена плотно, и средняя плотность существующего населения составляет 315 чел./га.

Городские кварталы, застроенные в 20–40 годах, увеличились по площади. Они имеют размеры от 170 до 220 метров с развитым общим внутренним двором. Застройка носит периметральный характер. Здания фасадами ориентированы на уличное пространство. На первых этажах стали размещаться магазины, кафе и другие объекты коммунального обслуживания. Такой принцип позволил сформировать пешеходное общественное пространство улиц. При этом детские дошкольные и школьные учреждения, а также досуговые или торговые комплексы выделены в самостоятельную функциональную зону. Внутри кварталов организуются проезды с разворотными площадками.

Застройка микрорайонов города Ростова-на-Дону формируется не только жилыми зданиями, но и объектами социально-бытового обслуживания благодаря размерам микрорайонов (от 400 до 1000 м). Она проводилась в соответствии с существовавшими в советское время нормами проектирования. Здания имеют свободную планировку, собственные дворы, из которых можно безопасно (в бестранспортной зоне) пройти к школе или детскому саду. Размеры микрорайона позволяли создавать пешеходные пространства к остановкам общественного транспорта (радиус 500 м). Приоритетным было создание подземных гаражей. Повышение застройки, как, например, в Северном жилом районе, постепенное ее уплотнение, увеличение числа машин, не обеспеченных гаражами, привело к тому, что человек почувствовал себя неуютно в гипертрофированном пространстве. Дворы превратились в сплошную стоянку автомашин, появилось много шума и загазованности территорий.

Изменившаяся в стране градостроительная доктрина диктует новую концепцию архитектурно-планировочных и ландшафтных решений, застройки и обустройства при формировании жилых территорий, а именно — возвращение к квартальной застройке с бестранспортной зоной и высоким уровнем благоустройства и озеленения.

В настоящее время реализовано много предложений с квартальной застройкой как в нашей стране, так и за рубежом. Так, например, итальянскими архитекторами в 90-е годы был принят новый концепт, названный «анклавом» (идея «англосаксонского» происхождения), где знаковая ценность принадлежит отдельным архитектурным объектам в противоположность прежним требованиям формального единства. В Милане создано несколько новых градостроительных объектов. Например, проект «Porta–Nuova». Это один из построенных современных кварталов в центральной части Милана. Здесь на площади 24 га были построены два жилых комплекса по проектам архитектурных бюро — «Zaha Hadid Architects» (2005 — 2013 гг.) и «Studio Libeskind» (2007 — 2012 гг.). В комплексе, разработанном студией архитектора Даниэля Либескинда, пять 14-этажных и три 5-этажных здания. Они сгруппированы вокруг внутреннего двора с пешеходными дорожками, ведущими на улицу, к подземной парковке и парку. В верхних этажах размещаются двухсветные пентхаусы с широкими террасами (рис. 1).



Рис. 1. Жилой комплекс в новом квартале г. Милана. Архитектор Даниэль Либескинд

Здесь обеспечена безопасная среда путем разделения движения транспорта и пешеходов с использованием вертикальных планировочных приемов. Проезды оставлены на уровне земли, а пешеходное движение полностью или частично поднято на пешеходную платформу. При этом для проживающих создана комфортная среда как с психологической, так и с экологической точки зрения (рис. 2). Под зданиями устроены подземные парковки для жителей, полностью решающие проблему автотранспорта. Внутридворовое пространство становится центром притяжения людей. Здесь предусмотрены детские площадки, площадки для отдыха, спорта и развлечений, зеленые зоны, прогулочные дорожки.



Рис. 2. Въезды в подземные гаражи в жилом комплексе в Милане. Архитектор Даниэль Либескинд

Поиск новых приемов планировки и застройки жилых образований активно идет и в нашей стране. В основном предпочтение отдается смешанной квартальной застройке, при которой разные типы застройки (жилая, социальная, офисная, коммерческая и др.) присутствуют на территории и находятся в пешеходной доступности. Люди, проживающие в них, воспринимают внутриквартальную территорию как собственный двор, а не общественное место. Отсутствие транспорта делает условия проживания более эргономичными и соразмерными человеку. Проживающим здесь людям можно меньше пользоваться личным и общественным транспортом, что улучшает экологическую обстановку в целом. Вместе с тем развивается велосипедное движение и пешеходная инфраструктура.

Обсуждение и заключение. Проведенные исследования позволили определить основные этапы развития планировочной структуры приречных городов и их застройки, а также выявить их особенности, связанные с природными и историческими временными факторами. Результаты исследований позволили выделить 4 основных типа кварталов и микрорайонов, которые характерны для приречных городов южного региона: Ростов-на-Дону, Краснодар, Волгоград.

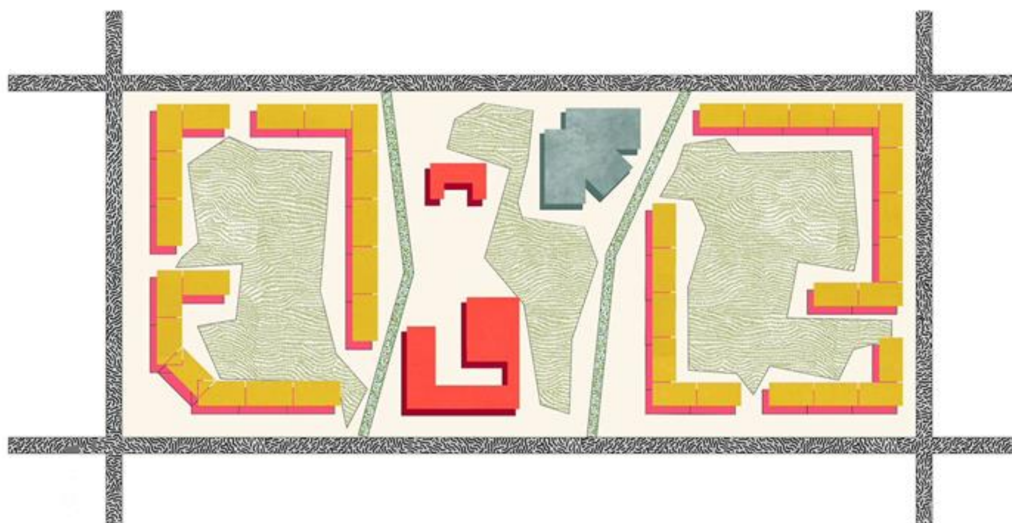


Рис. 3. Концептуальные предложения по планировочной организации и застройке территорий южных городов

Опыт современного строительства в нашей стране и за рубежом показал, что в настоящее время в жилых образованиях используются планировочные кварталы размерами от 300 до 500 метров, ограниченные улицами районного значения. В них формируются блоки с жилой застройкой, своими бестранспортными дворовыми пространствами, озелененными участками с площадками для отдыха и спорта. В зоне пешеходной доступности размещаются объекты социально-бытового обслуживания, школьные и дошкольно-воспитательные учреждения, возможно размещение безвредных производственных объектов (рис. 3).

В самих жилых группах возможно широкое использование методов разделения транспортно-пешеходных потоков с применением вертикально-планировочных способов: пешеходное движение поднимается на стилобат или пешеходную платформу, а транспорт остается на земле, или осуществляется заглубление проездов и гаражей под землю на разных уровнях. Предлагаемые концептуальные предложения позволят создать комфортные условия для проживания населения на территориях южных городов России.

Для городов южного региона с жарким сухим климатом создание комфортных условий для проживания является определяющим фактором в проектировании и строительстве. Активное развитие данного направления в России должно являться приоритетным в градостроительной политике. Логика любого проекта должна опираться на методологию комфортной политики прототипного планирования городской среды.

Список литературы

1. Токарев А.Г. Градостроительное развитие Ростова-на-Дону в XIX – начале XX в. *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2011;(3):41–49.

2. Рачкевич Т.Е., Протасова Ю.А. Квартал или микрорайон? *Архитектура: сборник научных трудов.* 2016;(9):151–156.

3. Vorobyeva A.M. Evolution of Landscape Architecture. *Materials Science Forum.* 2018;(931):856–861. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.931.856

4. Vorobyeva A.M. Features of the Transformation of Urban Facilities During the Reconstruction of Territories. In: *XIV International Scientific and Practical Conference "State and Prospects for the Development of the Agro-Industrial Complex — INTERAGROMASH 2021".* E3S Web of Conferences; 2021. 06011. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202127306011

5. Vorobeva A.M. The Place History Reading in the Image of The Urban Areas' Formed Public Space. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.* 2020;913:032004. https://doi.org/10.1088/1757-899X/913/3/032004

References

1. Tokarev AG. Town-Planning Development of Rostov-on-Don in at XIXth – Beginning of the XXth Centuries. *Vestnik Tomskogo Gosudarstvennogo Arkhitekturno-Stroitel'nogo Universiteta. Journal of Construction and Architecture*. 2011;(3):41–49. (In Russ.).

2. Rachkevich TE, Protasova YuA. City Block or Microdistrict? *Architecture: Collection of Scientific Papers.* 2016;(9):151–156. (In Russ.).

3. Vorobyeva AM. Evolution of Landscape Architecture. Materials Science Forum. 2018;(931):856–861. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.931.856

4. Vorobyeva AM. Features of the Transformation of Urban Facilities During the Reconstruction of Territories. In: *XIV International Scientific and Practical Conference "State and Prospects for the Development of the Agro-Industrial Complex — INTERAGROMASH 2021". E3S Web of Conferences*; 2021. 06011. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202127306011

5. Vorobeva AM. The Place History Reading in the Image of the Urban Areas' Formed Public Space. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.* 2020;913:032004. https://doi.org/10.1088/1757-899X/913/3/032004

Поступила в редакцию 05.06.2023
Поступила после рецензирования 25.06.2023
Принята к публикации 01.07.2023

Об авторах:

Воробьева Александра Максимовна, профессор кафедры «Градостроительство и проектирование зданий» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат архитектуры, профессор, ORCID, rostland@mail.ru

Бондаренко Татьяна Александровна, студентка группы АМГР21 Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), ORCID, 982701@gmail.com

Заявленный вклад соавторов:
Т.А. Бондаренко — анализ результатов исследований, подготовка текста и графических материалов.
А.М. Воробьева — формирование основной концепции, цели и задачи исследования, научное руководство, подготовка выводов.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Received 05.06.2023
Revised 25.06.2023
Accepted 01.07.2023

About the Authors:
Aleksandra M. Vorobyeva, Cand.Sci. (Architecture), Professor of the Urban Planning and Building Design Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), ORCID, rostland@mail.ru
Tatyana A. Bondarenko, Student of Group AMGR21, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), ORCID, 982701@gmail.com

Claimed contributorship:
TA Bondarenko — analysis of research results, preparing the text and graphic materials.
AM Vorobyova — formulating the basic concept, aims and objectives of the research, scientific supervision, preparing the conclusions.

Conflict of interest statement: the authors do not have any conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.




УДК 004.94;69;72

Научная статья

https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-3-74-83



Технологии информационного моделирования BIM в строительстве и архитектуре: анализ мирового и отечественного опыта

М.Е. Дымченко ✉, **А.А. Наумов**

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

✉ kapitel1073@yandex.ru

Аннотация

Введение. Актуальность темы исследования обусловлена существующими пробелами в современной архитектуроведческой концептуализации инновационных цифровых технологий, позволяющих оптимизировать процесс реконструкции здания Сиднейского оперного театра и реставрации Иоанно-Богословского храма в Ростовской области. Создание виртуальной копии здания упрощает работы по его возможной реконструкции. Цель исследования — изучить взаимосвязь информационной модели с применением цифрового формата IFC здания Сиднейского оперного театра и Иоанно-Богословского храма в ст. Грушевской Ростовской области с формированием проектов продления их жизненного цикла.

Материалы и методы. Методологическая база исследования включает в себя традиционные научные методы, а также характеризующие современное архитектуроведение междисциплинарные подходы. Материалом исследования является эволюция принципов проектирования объектов капитального строительства, реконструкции и модернизации на примере технологий информационного компьютерного моделирования (BIM), а также опыт применения компьютерных технологий в реконструкции и перевооружении строительных объектов. В работе использована компьютерная модель здания Сиднейского оперного театра и фотофиксация архитектурных элементов, деталировки, фрагментов фасадов исторических зданий при разработке модели Иоанно-Богословского храма и проекта вновь возводимого объекта — надвратной колокольни.

Результаты исследования. Установлено доминирование BIM над традиционными методами проектирования, которое выражается в возможности цифрового моделирования и расчетов переоснащения объектов новыми инженерными системами с целью приведения характеристики эксплуатируемого оборудования к современному уровню требований и оценки текущего состояния конструкций и сооружений, определяющего комплекс мероприятий по реставрации и реконструкции.

Обсуждение и заключение. В статье охарактеризована взаимосвязь структурации перемещения показателей информационной модели здания между дифференциальными программами, участвующими в ее создании, с применением формата IFC. Архитектурно-строительное проектирование с помощью новых технологий адаптирует и рационализирует возведение, эксплуатацию, реконструкцию объектов капитального строительства с целью эффективного управления жизненным циклом объектов строительства.

Ключевые слова: технологии информационного моделирования, BIM, проектирование, жизненный цикл, закономерности формообразования, реконструкция

Благодарности: авторы выражают благодарность заведующему кафедрой «Строительные материалы» В.Д. Котляру, доктору технических наук, профессору, члену Академии технической эстетики и дизайна, чей творческий эмпирический метод, критическая оценка представленных материалов и высказанные предложения по их совершенствованию способствовали значительному повышению качества настоящей статьи.

Для цитирования. Дымченко М.Е., Наумов А.А. Технологии информационного моделирования BIM в строительстве и архитектуре: анализ мирового и отечественного опыта. *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий*. 2023;2(3):74–83 https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-3-74-83

Original article

Building Information Modelling (BIM) Technologies in Construction and Architecture: International and National Experience

Marina E. Dymchenko ✉, **Aleksey A. Naumov**

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

✉ kapitel1073@yandex.ru

Abstract

Introduction. The relevance of the research is induced by the gaps existing in the modern Architectural Science with regard to the conception of innovative digital technologies capable to optimise the reconstruction of the Sydney Opera House and the restoration of the St. John the Theologian Church in the Rostov region. Creating a digital twin of a building simplifies the work on its possible reconstruction. The research is targeted at studying the interrelation of the digital IFC models of the Sydney Opera House and the St. John the Theologian Church in Grushevskaya Cossack village, Rostov region, complemented by creation of their lifecycle-extending projects.

Materials and Methods. The methodological base of the research includes the traditional scientific methods, as well as the interdisciplinary approaches used in the modern Architectural Science. The work studies progress in the designing, reconstruction and modernisation principles of the objects of capital construction, on the example of the building information modelling technologies (BIM), as well as the experience of using computer technologies in reconstruction and re–equipping the construction facilities. The computer model of the Sydney Opera House building, along with the photographic evidence of architectural elements, detail drawings, historical buildings' facade fragments were used in the research for elaborating the St. John the Theologian Church model and designing the new facility — the gate bell tower.

Results. The excellence of BIM over the traditional designing methods has been established, which is expressed in the possibility to perform digital modelling and make calculations on re-equipping the facilities with the modern engineering systems aiming to bring the parameters of the operated equipment in compliance with the up-to-date level of requirements and assessments accepted for the current state of constructions and structures, which determines the range of restoration and reconstruction measures.

Discussion and Conclusion. The article describes the interrelation in structuring the transfer of building information model parameters among the differential programmes involved in the model creation using the IFC format. Application of advanced technologies in the architectural design and construction adjusts and rationalises the processes of construction, operation and reconstruction of the objects of capital construction aiming to manage their life cycle efficiently.

Keywords: information modelling technologies, BIM, designing, life cycle, regularities of creating a form, reconstruction

Acknowledgements: the authors express gratitude to the Head of the Building Materials Department VD Kotlyar, Dr.Sci.(Engineering), Professor, Fellow of the Academy of Technical Aesthetics and Design, whose creative empirical method, critical assessment of the presented materials and suggestions for their improvement contributed to the significant improvement of the article quality.

For citation. Dymchenko ME, Naumov AA. Building Information Modelling (BIM) Technologies in Construction and Architecture: International and National Experience**.** *Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning*. 2023;2(3):74–83. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-3-74-83

Введение. В настоящее время, когда максимальная эффективность в архитектуре и строительном процессе обеспечивается инновациями, все чаще поднимается тема новых методик проектирования зданий и сооружений. Ведутся дискуссии о применении технологий информационного моделирования (BIM) как нового витка в истории проектирования. Стоит отметить, что перед мировой строительной отраслью, включающей огромное наследие возведенных зданий и сооружений, наиболее остро выдвигается проблема капитального ремонта, реконструкции или реставрации объектов капитального строительства.

В мировой практике с глобальным инкорпорированием информационного моделирования инициализировалась и апробация BIM к объектам капитального строительства. В Российской Федерации данный вопрос изучали и комментировали Талапов В.В., Мовчан Д.А., Габидулин В.М., Ануфриев Д.П., Золина Т.В., Боронина Л.В., Купчикова Н.В., Жолобов А.Л., Козлова Т.И. и др. [1–9].

Но освещения концепции корректировки инновационных технологий недостаточно. В исследовании авторы обращаются к научным методам: индукции, дедукции и сравнительному анализу.

Цель исследования — изучить взаимосвязь влияния новейших цифровых технологий на опыт проектирования, реконструкции и реставрации как базис при формировании проектов продления их жизненного цикла и при разработке концептов вновь возводимых объектов, встраиваемых в существующую историческую застройку.

Материалы и методы. Необходимо рассмотреть некоторые примеры применения информационного моделирования в реставрации и реконструкции — проанализировать опыт апробации компьютерных технологий при реконструкции Сиднейского оперного театра, а также их применение при реставрационном проектировании храма, освященного во имя святого апостола и евангелиста Иоанна Богослова, расположенного на территории Ростовской области в станице Грушевской.

Здание Сиднейского оперного театра — признанное достижение мировой архитектуры, объект капитального строительства с эксклюзивным формообразованием, символ Австралии. В ходе эксплуатации выполнена информационная модель, предназначенная для проведения потребовавшейся реконструкции объекта.

В 1957 г. на конкурсе в Сиднее лидировал проект молодого датского архитектора Йорна Утзона, утверждавшего, что линии будущего театра он «нашел» в то время, когда очищал апельсин от кожуры и разламывал его на дольки. Историю строительства оперного театра в Сиднее сопровождало множество проблем.

Для возведения данного инновационного проекта (рис. 1) понадобилось затрат труда в 3,5 раза больше и денежных средств в 14 раз больше от запланированных. Согласно строительной документации, планировали построить объект за 4 года при финансовых затратах 7 миллионов австралийских долларов. В действительности здание возводили 14 лет, а затраты на его возведение составили 102 миллиона австралийских долларов. Эксперты полагают, что это абсолютный рекорд ошибок, допущенных при строительстве капитального объекта.

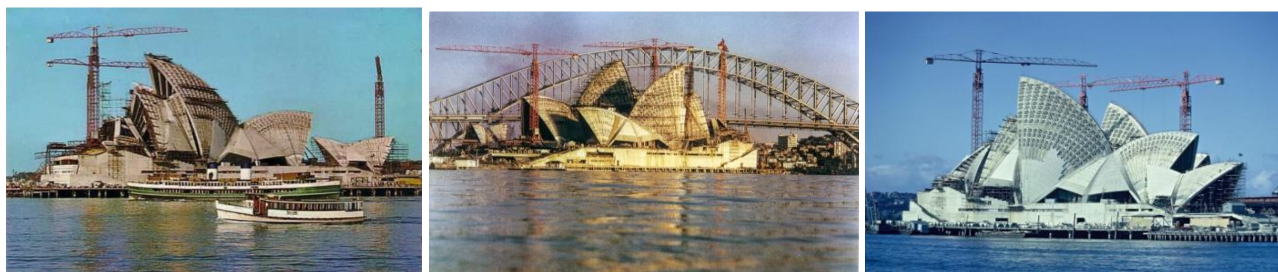
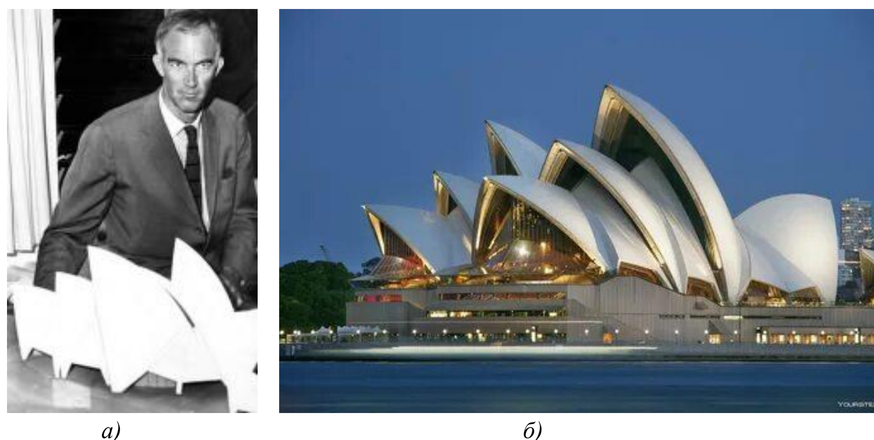


Рис. 1. Этапы строительства театра оперы в Сиднее[1]

Мнение инженеров-конструкторов середины XX века заключалось в том, что огромные параболы, обрамляющие контуры кровли, по технологическим причинам нельзя возвести в бетоне. В то время еще отсутствовали компьютерные технологии архитектурно-строительного проектирования (технологии BIM) зданий и сооружений с нелинейными формами, поэтому для экспозиции объемно-пространственного архитектурного объекта в масштабе у архитектора имелся макет из картона (рис. 2 *а*). Однако австралийские архитекторы и инженеры фирмы «Arup» во главе с Питером Райсом сделали сложнейшие компьютерные расчёты и помогли довести строительство до логического конца (рис. 2 *б*).



а) *б)*

Рис. 2. Этапы проектирования здания Сиднейской оперы: *а* — Йорн Утзон, архитектор с макетом здания[2]; *б* — здание оперы в Сиднее[3]

[1] La ópera de Sídney – Kurioso. Pinterest: [сайт]. 2023. URL: https://ru.pinterest.com/pin/740560732445880683/ (дата обращения: 26.06.2023).

[2] 8 фактов о Сиднейском оперном театре, автор которого выбросил все его чертежи в океан. Novate: [сайт]. 2023. URL: https://novate.ru/blogs/280721/59809/ (дата обращения: 01.09.2023)

[3] Оперный театр в Сиднее: [сайт]. 2023. URL: https://mykaleidoscope.ru/x/mesta-i-dostoprimechatelnosti/4324-opernyj-teatr-v-sidnee-58-foto.html (дата обращения: 02.09.2023)

Современные специалисты в области строительства и архитектуры имеют четкое представление, что отсутствие BIM-технологий создавало и создает множество проблем при проектировании, подборе строительных материалов, расчетах нагрузок, организации строительства (сложные инженерные и технологические расчёты, перерасходы средств и т. п.).

В начале 2000-х годов зданию театра, проектный эксплуатационный срок которого составлял 250 лет, «исполнилось» тридцать лет, при этом инженерные сети имели существенный физический износ и перестали отвечать современным требованиям. Сильно изменились основополагающие требования и методы эксплуатации подобных зданий. Поэтому встал вопрос о реконструкции и перевооружении оперного театра.

Перед инженерами ставились задачи, которые возможно решить с помощью технологий BIM. Необходимо было создавать информационную модель существующего объекта. Эта технология решает сразу две задачи:

– создание проекта реконструкции объекта и перевооружение театра новейшим оборудованием;

– эксплуатация оборудования и здания на новом технологическом уровне.

В 2002 г. фирмы «UtzonArchitects», «JohnsonPiltonWalker» и инженерная компания «Arup», сохранившая необходимую информацию со времен строительства, приступили к проекту по реконструкции оперного театра в Сиднее.

Стоит отметить, что к работе над проектом приступил Австралийский исследовательский центр по строительным инновациям (CRC), перед которым стояла задача модернизации проектируемой информационной модели с целью регулирования работы инженерных систем и контроля за эксплуатацией здания (AM/FM).

Цель использования BIM-макета для эксплуатации и обслуживания здания достигалась созданием комплексной модели, которая состоит из конструктивной формы и вспомогательных частей, соответствующих всем поставленным задачам.

Обоснованность данной дифференциации одной модели на несколько частей определилась следующими факторами:

– цели разделов AM/FM вынуждали использовать дополнительные данные, не учтенные в проектной документации;

– конструкторская документация не использовалась для управления и обслуживания здания оперного театра.

Всем подрядчикам, работавшим над проектом, выдавались данные в формате IFC. Также стоит отметить, что обмен данными происходил благодаря той же системе IFC [4].

Одной из особенностей BIM-модели описываемого объекта являлось то, что все разделы модели создавались в различных программах информационного моделирования, однако обмен выполнялся с помощью ранее упомянутого IFC (рис. 3).

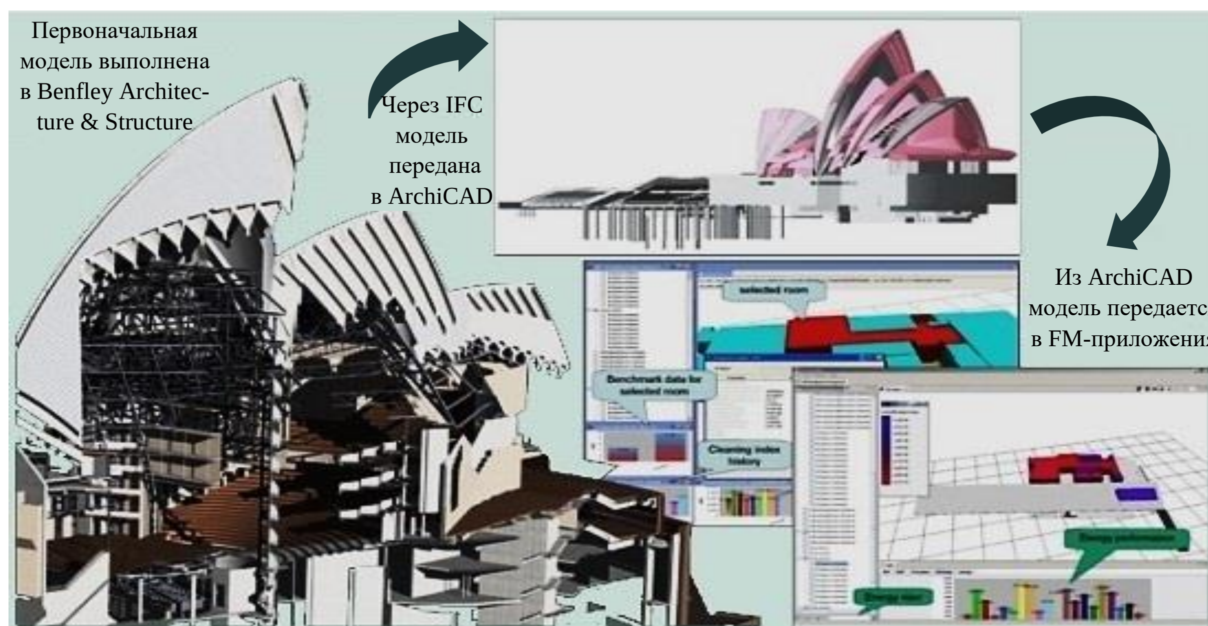


Рис. 3. Структурация перемещения показателей (сведений) информационной модели здания между дифференциальными программами, участвующими в ее создании, с применением формата IFC

При построении информационной модели учитывалось специфическое месторасположение объекта (мыс, располагающийся в океане). Проводили инженерный мониторинг с точной геодезической привязкой здания и проектированием модели на основе GIS-систем. В модели объединялись данные кадастра, землепользования,

геологии и другая информация из разных источников местного и федерального значения, которые были получены в разных GIS-форматах и переведены в IFC-файлы. (IFC используется при управлении объектами капитального строительства, поскольку он представляет собой текстовый формат, совместимый с любой ERP-системой).

Конструктивная подмодель объекта состояла большей своей частью из проектной документации. Моделировали проект реконструкции здания в программах BentleyArchitecture и BentleyStructure. Вскоре данная подмодель была передана в ArchiCAD, где специалисты создали архитектурную часть информационной модели (рис. 4).

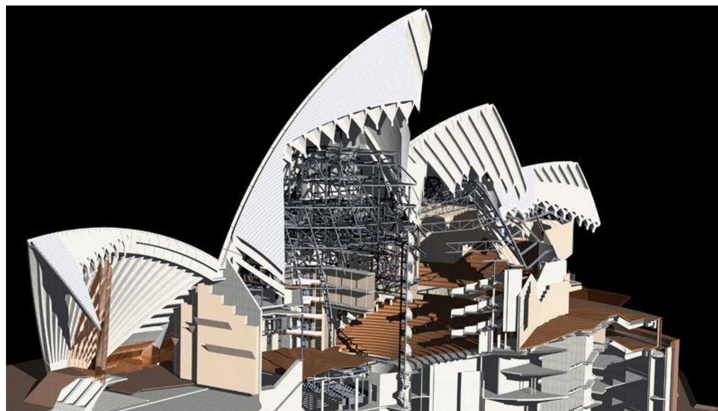


Рис. 4. Здание оперного театра; разрез, компьютерная модель[4]

Далее из архитектурной части BIM-модели в формате IFC информация передавалась в специальные FM-программы, которые помогали в управлении и эксплуатации объекта. При создании информационной модели театра большое внимание уделяли графической детализации данных, выраженных в численном и цифровом понимании. Так, индекс состояния здания (Building Condition Index, BCI) выполнял функцию количественной оценки состояния объекта. Колористическое воспроизведение технического состояния объекта (параметра BPI (составной части BCI) в типизированном FM-приложении) позволяет легко ориентироваться в текущей ситуации инженерного состояния объекта и управлять жизненным циклом театра (рис. 5).

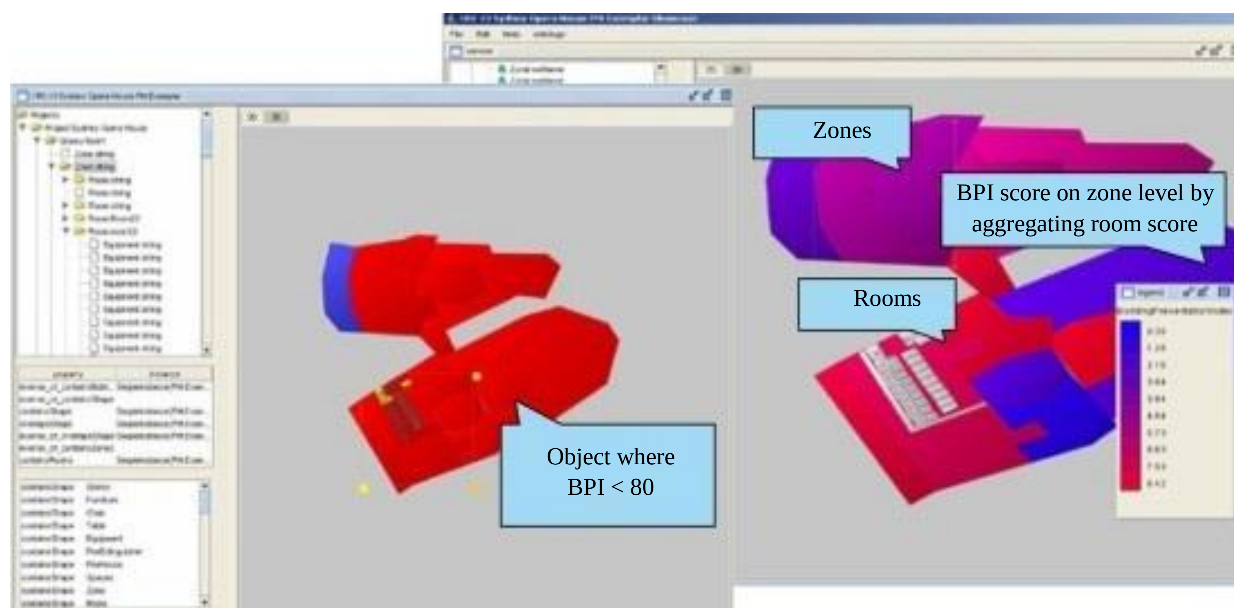


Рис. 5. Колористическое воспроизведение (изображение) параметра BPI (составной части BCI) в типизированном FM-приложении (дополнении)

Следующим примером использования информационного моделирования является его применение при реконструкции объекта культурного наследия регионального значения — Иоанно-Богословского храма в ст. Грушевской Ростовской области. Этот храм был построен по проекту архитектора Куликова в 1901 г. После закрытия

[4] LA ÓPERA DE SÍDNEY. Pinterest: [сайт]. 2023. URL: https://pinterest.com/pin/200128777165013361 (дата обращения: 05.07.2023)

храма в 1957 г. была сломана крыша, имеются частичные разрушения фасадов здания, колокольни. Сегодня полуразрушенному зданию церкви необходима реставрация (рис. 6).



Рис. 6. Объект культурного наследия регионального значения
Иоанно-Богословский храм в ст. Грушевской Ростовской области. 1901 г. п. Архитектор Куликов.
Фотофиксация и модель храма

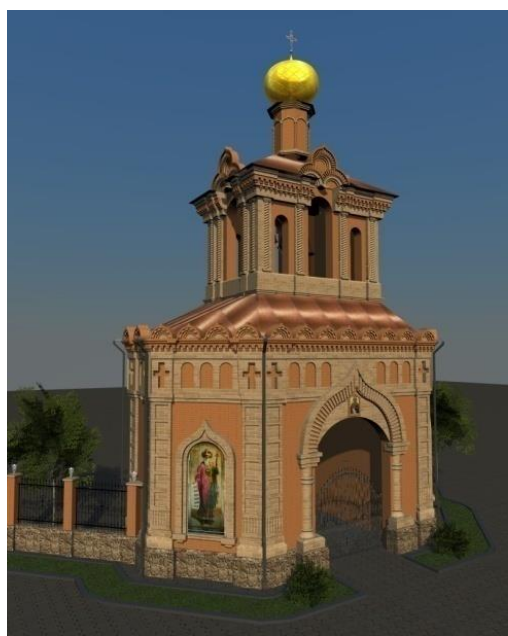
Внешнее состояние памятника архитектуры всегда имеет первостепенное значение. С этой целью информационная модель здания, созданная для реставрационного проектирования, должна иметь точную геометрию объекта, сделанную в одной из BIM-программ. При дальнейшей разработке проектной документации такая модель станет основой для других разделов.

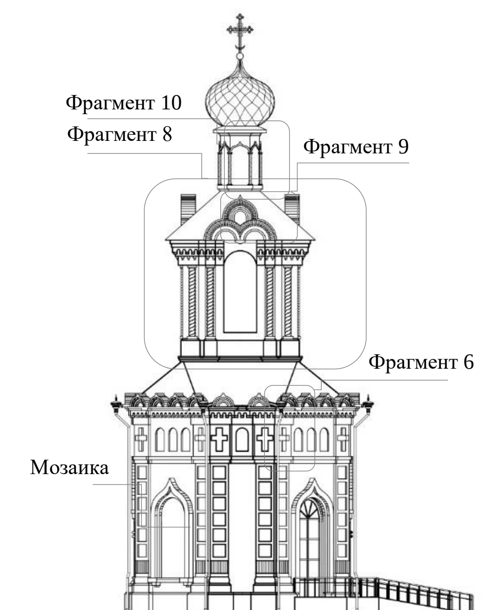
Поэтому более наглядно видна тенденция развития использования BIM комплексов в работе студентов и инженеров. Так постепенно студенты обретают профессиональный опыт в создании проектных моделей объектов капитального строительства и памятников архитектуры.

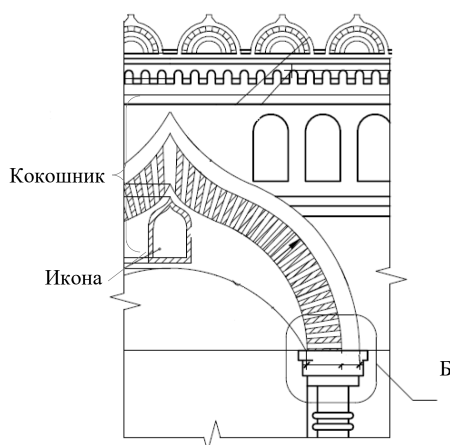
Результаты исследования. Элементы архитектурного декора объектов капитального строительства, историко-культурного значения и наследия зодчих уникальны, эксклюзивны, оригинальны и в современной действительности уже довольно редки. Для управления жизненным циклом таких объектов не обойтись без BIM-технологий. Субстанциональные основы в BIM-технологиях полностью целесообразно синтезировать индивидуально для объектов капитального строительства историко-культурного значения и наследия зодчих. Создание компьютерного макета таких объектов — исключительно важная компетенция инженеров-строителей, проектировщиков, архитекторов-реставраторов.

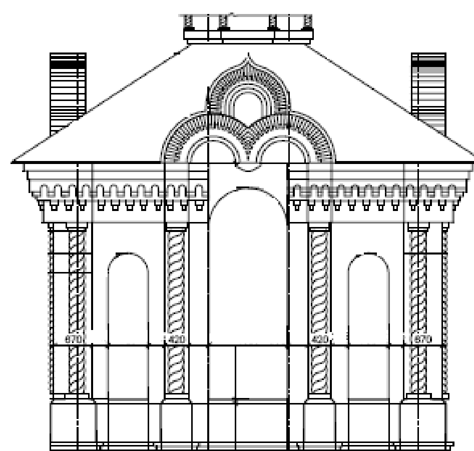
Реконструкция представляет не отдельный макет, но собранные в процессе компьютерного моделирования архитектурные элементы, деталировки, фрагменты фасадов зданий. Это позволяет сформировать актуальную библиотеку элементов, деталей, составляющих многообразные уникальные архитектурные стили, что станет фундаментальной и эффективной основой последующего моделирования при капитальном ремонте объектов строительства, реконструкции и реставрации.

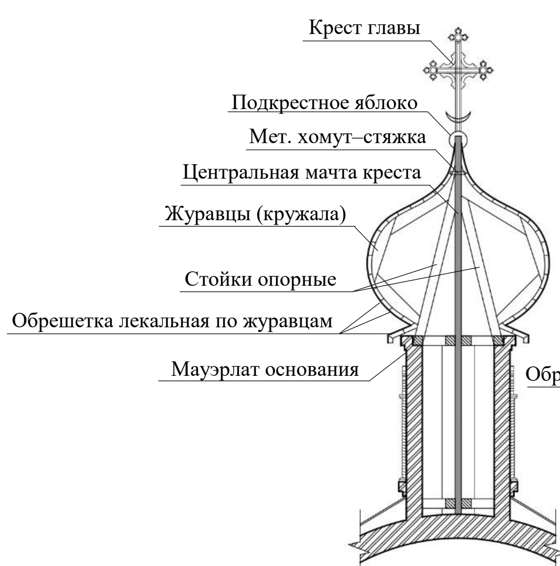
Актуально применение декоративных архитектурных элементов, деталировки, фрагментов фасадов исторических зданий при выполнении проектов вновь возводимых объектов (рис. 7), встраиваемых в существующую историческую застройку, и реконструкции объектов капитального строительства, для создания архитектурных ансамблей. Это упрощает инженерам-проектировщикам возможность учитывать архитектурную стилистику.











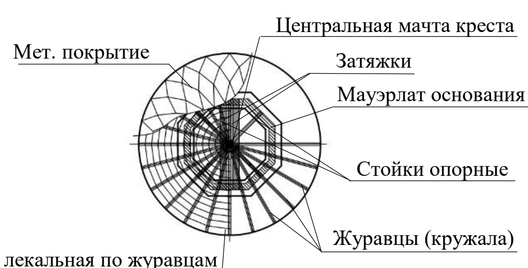


Рис. 7. Компьютерное моделирование вновь возводимого объекта — надвратной колокольни

BIM-технологии — на сегодняшний день удобный и мощный инструмент, который решает одну из главнейших задач — сохранение единой архитектурной среды для объектов разных исторических эпох.

Наряду с этим можно констатировать, что информационное моделирование гарантирует вновь построенным зданиям современные эксплуатационные качества и оптимальное инженерное оборудование. Сконцентрированные в библиотеках разнообразные архитектурно-стилевые элементы синтезируют при проектировании с ранее автоматически авторизованными техническими и экономическими показателями.

Обсуждение и заключение. В наши дни в Европейских государствах и в странах Американского континента в инженерно-строительное и архитектурное проектирование стремительно внедряются BIM-технологии [10–19]. Технология информационного моделирования в управлении строительством позволяет объединить объекты различного назначения в единую информационную модель [12]. В России на данный момент существует ряд проблем, замедляющих процесс повсеместного внедрения BIM [13]. Для управления жизненным циклом объектов капитального строительства историко-культурного значения и наследия зодчих обязательно требуется их эксплуатационная оптимизация к актуальным условиям, т. е. фундаментальности, энергоэффективности, эргономичности, пожаробезопасности и т. п. Безусловно, эффективно решить проблематику такой эксплуатационной оптимизации исторических зданий, которая сегодня приобретает возрастающий масштаб, и задачи управления жизненным циклом таких объектов возможно посредством BIM-технологий.

Сравнительный анализ рассмотренных примеров из новейшей истории строительства и архитектуры важен и обоснован, необходим для констатации сложности активно эксплуатируемого капитального здания и управления жизненным циклом объектов строительства.

Новые технологии информационного моделирования в строительстве позволяют:

– упростить и улучшить процесс строительства и реконструкции;

– более эффективно планировать, визуализировать и управлять проектом;

– повысить эффективность, сократить затраты и достичь более качественных результатов в архитектурно-строительных и реконструкционных проектах;

– повысить эффективность в управлении жизненным циклом объектов строительства.

Список литературы

1. Талапов В.В. *Основы BIM: введение в информационное моделирование зданий*. Москва: ДМК-Пресс; 2011. 391 с.

2. Талапов В.В. *Технология BIM: суть и особенности внедрения информационного моделирования зданий*. Москва: ДМК-Пресс; 2015. 410 с.

3. Мовчан Д.А. *Технология BIM для архитекторов. САПР от А до Я*. Москва: ДМК-Пресс; 2013.

4. Габидулин В.М. *Трехмерное моделирование в AutoCAD.* Москва: ДМК-Пресс; 2016.

5. Ануфриев Д.П., Золина Т.В., Боронина Л.В., Купчикова Н.В., Жолобов А.Л. *Новые конструкции и технологии при реконструкции и строительстве зданий и сооружений.* Д.П. Ануфриева (ред.). Москва: АСВ; 2013. 208 с.

6. Ануфриев Д.П., Купчикова Н.В. Эффективные строительные конструкции и технологии на Каспийском инновационном форуме-2009. *Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века.* 2009(5):48–50.

7. Козлова Т.И., Талапов В.В. Опыт информационного моделирования памятников архитектуры. *Международный электронный научно-образовательный журнал "AMIT"*. 2009;3(8):4.

8. Талапов В.В. О некоторых закономерностях и особенностях информационного моделирования памятников архитектуры. *Международный электронный научно-образовательный Журнал «AMIT»*. 2015;2(15):11. URL: https://marhi.ru/AMIT/2015/2kvart15/talapov/abstract.php (дата обращения: 03.07.2023).

9. Азаров Б.Ф. Использование технологии наземного лазерного сканирования при обследовании зданий и сооружений. *Ползуновский альманах*. 2017(2):34–37.

10. Петров К.С., Кузьмина В.А., Федорова К.Ф. Проблемы внедрения программных комплексов на основе технологий информационного моделирования (BIM-технологий). *Инженерный вестник Дона.* 2017;2. URL: http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4057 (дата обращения: 07.06.2023).

11. Гришина Н.М., Мицко Д.И. Разработка и внедрение BIM-стандарта: исследование методов управления в строительстве. *Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета.* 2017;3(41):266–276. URL: https://izvestija.kgasu.ru/ru/nomera-zhernala/novye-vypuski-za-2-goda?annot=sod3_2017&idizv=43 (дата обращения: 09.06.2023).

12. Шеина С.Г., Петров К.С., Федоров А.А. Исследование этапов развития BIM-технологий в мировой практике и России. *Строительство и техногенная безопасность*. 2019;14(66):7–14.

13. Ahmed S. Barriers to Implementation of Building Information Modeling (BIM) to the Construction Industry: A Review. J. *Civil Eng. Construct.* 2018;7(2):107–113. https://doi.org/10.32732/jcec.2018.7.2.107

14. Шарманов В.В., Мамаев А.Е., Болейко А.С., Золотова Ю.С. Трудности поэтапного внедрения BIM. *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2015(10):108–120. https://doi.org/10.18720/CUBS.37.8

15. Ghaffarianhoseini A., Tookey J., Ghaffarianhoseini A., Naismith N., Azhar S., Efimova O., et al. Building Information Modelling (BIM) Uptake: Clear Benefits, Understanding its Implementation, Risks and Challenges. *Renew. Sustain. Energy Rev*. 2017;75:1046–1053. https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.083

16. Козлова Т.И. Информационная модель недвижимого объекта культурного наследия как новый инструмент работы в музеефикационной практике. *Вестник Томского государственного университета. История*. 2013;3(23):33–37.

17. Eastman C., Teicholz P., Sacks R., Liston K. *BIM Handbook. Second edition.* NJ: Wiley; 2011. 626 p.

18. Krygiel E., Niec B. *Green BIM: Successful Sustainable Design with Building Information Modeling.* NJ: Wiley; 2008. 310 p.

References

1. Talapov VV. *Osnovy BIM: Vvedenie v Informatsionnoe Modelirovanie Zdanii.* Moscow: DMK-Press; 2011. 391 p. (In Russ.).

2. Talapov VV. *Tekhnologiya BIM: Sut' i Osobennosti Vnedreniya Informatsionnogo Modelirovaniya Zdanii*. Moscow: DMK-Press; 2015. 410 p. (In Russ.).

3. Movchan DA. *Tekhnologiya BIM dlya Arkhitektorov. SAPR ot A do Ya*. Moscow: DMK-Press; 2013. (In Russ.).

4. Gabidulin VM. *Trekhmernoe Modelirovanie v AutoCAD*. Moscow: DMK-Press; 2016. (In Russ.).

5. Anufriev DP, Zolina TV, Boronina LV, Kupchikova NV, Zholobov AL. *Novye Konstruktsii i Tekhnologii pri Rekonstruktsii i Stroitel'stve Zdanii i Sooruzhenii*. Anufrieva DP (ed.). Moscow: ASV Publ.; 2013. 208 p. (In Russ.).

6. Anufriev DP, Kupchikova NV. The Efficient Structural Elements and Structures and the Technologies Concerned at the Caspian Innovation Conference-2009. *Stroitel'nye Materialy, Oborudovanie, Tekhnologii XXI Veka*. 2009;(5):48–50. (In Russ.).

7. Kozlova TI, Talapov VV. Opyt Informatsionnogo Modelirovaniya Pamyatnikov Arkhitektury. *International Electronic Scientific - Educational Journal "AMIT".* 2009;3(8):4. (In Russ.).

8. Talapov VV. On Some Principles and Characteristics of Information Modeling of Architectural Monuments. *International Electronic Scientific - Educational Journal "AMIT"*. 2015;2(15). (In Russ.). URL: https://marhi.ru/AMIT/2015/2kvart15/talapov/abstract.php (accessed: 03.07.2023).

9. Azarov BF. Ispol'zovanie Tekhnologii Nazemnogo Lazernogo Skanirovaniya pri Obsledovanii Zdanii i Sooruzhenii. *Polzunovskii Al'manakh*. 2017;(2):34–37. (In Russ.).

10. Petrov KS, Kuz'mina VA, Fedorova KF. Problemy Vnedreniya Programmnykh Kompleksov na Osnove Tekhnologii Informatsionnogo Modelirovaniya (BIM-Tekhnologii). *Engineering Journal of Don*. 2017;2. (In Russ.). URL: http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4057 (accessed: 07.06.2023).

11. Grishina NM, Mitsko DI. Development and Implementation of the BIM-Standard: a Study of Management Practices in Construction. *News of the Kazan State University of Architecture and Engineering*. 2017;3(41):266–276. (In Russ.). URL: https://izvestija.kgasu.ru/ru/nomera-zhernala/novye-vypuski-za-2-goda?annot=sod3_2017&idizv=43 (accessed: 09.06.2023).

12. Sheina SG, Petrov KS, Fedorov AA. Research of the Stages of Development of BIM-Technologies in World Practice and Russia. *Construction and Industry Safety*. 2019;14(66):7–14. (In Russ.).

13. Ahmed S. Barriers to Implementation of Building Information Modeling (BIM) to the Construction Industry: a Review. *J. Civil Eng. Construct*. 2018;7(2):107–113. https://doi.org/10.32732/jcec.2018.7.2.107

14. Sharmanov VV, Mamaev AE, Boleiko AS, Zolotova YuS. Difficulties of Incremental BIM Implementation. *Construction of Unique Buildings and Structures.* 2015;(10):108–120. https://doi.org/10.18720/CUBS.37.8 (In Russ.).

15. Ghaffarianhoseini A, Tookey J, Ghaffarianhoseini A, Naismith N, Azhar S, Efimova O, et al. Building Information Modelling (BIM) Uptake: Clear Benefits, Understanding its Implementation, Risks and Challenges. *Renew. Sustain. Energy Rev*. 2017;75:1046–1053. https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.083

16. Kozlova TI. The Information Model of a Real Object of Cultural Heritage as a New Tool to Work Museumification Practice. *Tomsk State University Journal of History.* 2013;3(23):33–37. (In Russ.).

17. Eastman C, Teicholz P, Sacks R, Liston K. *BIM Handbook. Second edition*. NJ: Wiley; 2011. 626 p.

18. Krygiel E, Niec B. *Green BIM: Successful Sustainable Design with Building Information Modeling*. NJ: Wiley; 2008. 310 p.

Поступила в редакцию 30.08.2023
Поступила после рецензирования 06.09.2023
Принята к публикации 09.09.2023

Об авторах:

Дымченко Марина Евгеньевна, доцент кафедры «Строительные материалы» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162), кандидат философских наук, kapitel1073@yandex.ru

Наумов Алексей Александрович, доцент кафедры «Вычислительные системы и информационная безопасность», «Строительные материалы» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162), кандидат технических наук, доцент, ORCID, alexej_naumov@list.ru

Заявленный вклад соавторов:

М.Е. Дымченко — формирование основной концепции, цели и задачи исследования, сбор данных, анализ результатов исследований, подготовка текста, формулирование выводов.

А.А. Наумов — планирование, организация исследований, корректировка текста.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Received 30.08.2023
Revised 06.09.2023
Accepted 09.09.2023

About the Authors:

Marina E. Dymchenko, Cand.Sci.(Philosophy), Associate Professor of the Building Materials Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), kapitel1073@yandex.ru

Aleksey A. Naumov, Cand.Sci.(Engineering), Associate Professor of the Computer Systems and Information Security and Building Materials Departments, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), ORCID, alexej_naumov@list.ru

Claimed contributorship:

ME Dymchenko — formulating the main concept, aims and objectives of the research, data collection, research results analysis, preparing the text, formulating the conclusions.

AA Naumov — planning, organisation and implementation of research, research results analysis, correcting the text.

Conflict of interest statement: the authors do not have any conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.




УДК 69.003

https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-3-84-92

Научная статья



Совершенствование методики использования критериальных показателей комплексной оценки застроенных территорий

А.А. Аксенов ✉, **Е.Г. Аксенова**

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

✉ alexey_2002@mail.ru

Аннотация

Введение. Устойчивое развитие территорий напрямую зависит от устойчивости экономической, социальной, градостроительной и экологической подсистем. Целью работы является совершенствование системы обобщенных критериальных показателей комплексной оценки, позволяющей провести анализ текущего состояния урбанизированных территорий, оценить социо-эколого-экономический потенциал и сформировать прогноз их развития. Научной базой для проведения исследования служат труды и исследования Е.Г. Аксеновой и Е.П. Соколовой. Вместе с тем остается еще много не изученных вопросов, касающихся реализации программ по обустройству и формированию ландшафтов, строительства и развития инженерной инфраструктуры, что обуславливает актуальность темы настоящего исследования.

Материалы и методы. Объектом исследования выступает методика комплексной оценки урбанизированных территорий. В настоящее время существует значительное количество методов и методик, позволяющих провести социо-эколого-экономическую оценку застроенных территорий. Комплексный подход и эмпирические методы исследования позволили углубить и расширить рамки существующих исследований в данной области, дополнить их критериальными показателями комплексной оценки территорий, выделить основные направления такой оценки, обозначить оценочные зоны, разработать и предложить критерии оценки.

Результаты исследования. Предложенные критериальные показатели оценки территории позволяют провести комплексный анализ состояния урбанизированных ландшафтов, по итогам которого разрабатываются предложения и целевые программы, направленные на их рациональное использование. Материалы предложенной комплексной оценки территории позволяют учесть проектные решения по планировочной организации муниципального образования; выявить несоответствие существующей инфраструктуры и планировочной организации территории; составить прогнозы в отношении дальнейшего развития территорий и определить приоритетные направления их развития; установить несоответствия в системе планирования и прогнозирования развития застроенных территорий; определить уровни антропогенной и техногенной нагрузки на состояние окружающей среды; разработать программы и мероприятия по развитию пригодных для формирования точек роста территорий.

Обсуждение и заключение. Материалы комплексной оценки территории являются основанием для разработки долгосрочных прогнозов и определения перспектив развития всех сфер деятельности на урбанизированных ландшафтах. Полученные в процессе проведенного исследования научные результаты как элементы знаний обладают различной степенью научной значимости. Теоретическое значение состоит в развитии методики формирования основных критериев оценки урбанизированных территорий. Практическое значение заключается в разработке рекомендаций по рациональному использованию и организации урбанизированных территорий на основе представленной методики оценки.

Ключевые слова: устойчивое развитие территориальных образований, комплексная оценка территорий, показатели комплексной оценки, направления оценки территорий, комплексный анализ урбанизированных ландшафтов

Благодарности. Авторы выражают благодарность редакции и рецензентам, чья критическая оценка представленных материалов и высказанные предложения по их совершенствованию способствовали значительному повышению качества настоящей статьи.

Для цитирования. Аксенов А.А., Аксенова Е.Г. Совершенствование методики использования критериальных показателей комплексной оценки застроенных территорий. *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий*. 2023;2(3):84–92 https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-3-84-92

Original article

Enhancing the Benchmark Indicators Application Methodology of Integrated Assessment of the Built-Up Areas

Alexey A. Aksenov ✉, **Elena G. Aksenova**

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

✉ alexey_2002@mail.ru

Abstract

Introduction. The sustainable development of the territories depends directly on the sustainability of the economic, social, urban and environmental subsystems. The aim of the work is to enhance the system of generalised benchmark indicators of integrated assessment designated to conduct the analysis of the current state of the urbanised territories, to assess their socio-ecological and economic capacity and to forecast their development. The scientific background for the study is formed by the works and research of E.G. Aksenova and E.P. Sokolova. However, many issues arising in the frame of implementation of the landscape formation, construction and engineering infrastructure development programmes are still poorly explored and thus determine the relevance of the research on this topic.

Materials and Methods. Studying the methodology of integrated assessment of the urbanised territories became an object of this research. Currently, there exists quite many methods and technologies for conducting the socio-ecological and economic assessment of the built-up areas. An integrated approach and empirical research methods made it possible to deepen and expand the frames of the currently available studies in this field, supplement them with the benchmark indicators of integrated assessment of the territories, distinguish the main directions of such assessment, identify assessment zones, develop and propose assessment criteria.

Results. The proposed benchmark indicators for assessing the territory enable conducting a complex analysis of the state of the urbanised landscapes, which results in development of the proposals and targeted programmes on their rational use. The materials of the suggested integrated assessment of the territory can foster implementation of the design solutions on the municipal entity layout; identify the divergence between the existing infrastructure and the territory layout; forecast further development of the territories and determine the priority directions for their development; identify inconsistencies in the system of planning and forecasting the built-up areas development; define the levels of anthropogenic and technogenic load on the environment; work out the programmes and activities for development of the territories having the potential to become the growing points.

Discussion and Conclusion. The materials of the integrated assessment of the territory are the basis for the long-term forecasting and determining the perspectives of development of all spheres of urban landscapes activities. The scientific results obtained in the frame of the conducted research are the elements of knowledge which have a different degree of scientific significance. The theoretical significance lies in the development of the methodology of forming the main criteria for assessing the urban territories. The practical significance lies in the development of the recommendations for the rational use and layout of the urbanised territories based on the presented assessment methodology.

Keywords: sustainable development of territories, integrated assessment of the territories, integrated assessment indicators, directions of territories assessment, complex analysis of the urbanised landscapes

Acknowledgements. The authors express their gratitude to the editors and reviewers, whose critical evaluation of the presented materials and the suggestions on their improvement contributed to the significant improvement of the quality of this article.

For citation. AA Aksenov, EG Aksenova. Enhancing the Benchmark Indicators Application Methodology of Integrated Assessment of the Built-Up Areas. *Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning*. 2023;2(3):84–92. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-3-84-92

Введение. Рациональное использование территорий является первостепенной задачей в процессе их градостроительного и хозяйственного освоения. Процесс урбанизации ландшафтов напрямую зависит от уровня концентрации предприятий и объектов хозяйственной деятельности на ограниченных пространствах [1]. Сложившийся режим использования территорий требует поиска оптимальных решений для устранения проблемы их неэффективности природопользования. В связи с этим возникает необходимость определения экономической

эффективности и экологической значимости использования природного потенциала территории, а вместе с тем и достижения равновесия экономических, экологических, социальных и градостроительных факторов в процессе организации и использования территорий.

В организационной системе территориального планирования рациональное использование ландшафтов напрямую зависит от функционирования территории. Функциональное зонирование территорий представляет собой сложный многозадачный процесс, зависящий от многих аспектов и принципов, сформировавшихся на рассматриваемых территориях, и влияющий на качество проектных градостроительных решений. В процессе управления развитием территорий учитываются коэффициент их застроенности, доля открытых пространств, целевое назначение участка, его возможные предельные размеры, доля участков озеленения.

Планирование и прогнозирование дальнейшего развития агроландшафтов представляет собой особый вид деятельности, направленный на рациональное использование территорий. Организационные аспекты системы планирования и прогнозирования зависят от многих факторов:

− инвестиционная привлекательность территорий для потенциальных девелоперов;

− темпы и показатели реализации программ по обустройству и формированию ландшафтов;

− уровень функциональной организации территориальных пространств как инструмента управления урбанизированными территориями, направленной на рационализацию их использования;

− реализация природно-хозяйственного потенциала муниципального образования или региона.

Материалы комплексной оценки территории, полученные на основе качественного и количественного анализа, являются основанием для разработки долгосрочных прогнозов и определения перспектив развития всех сфер деятельности на данных территориях [2–7].

Теоретические положения и методология проведения оценки застроенных территорий отражены в трудах таких ученных, как В.И. Беспалов, А.П. Москаленко, Ю.Ю. Максюкова, В.П. Петрищев, С.А. Дубровская. Вопросам регулирования градостроительной деятельности уделено особое внимание в научных работах С.Г. Шеиной, Л.Л. Бабенко, Р.Б. Матвейко. В трудах А.Ю. Даванкова, Т.А. Верещагиной, М.А. Грязева, Н.В. Овчинниковой рассмотрены факторы и принципы определения социо-эколого-экономической эффективности территорий. Научной базой для проведения комплексной оценки состояния городских территорий могут служить исследования Е.Г. Аксеновой, а оценка экологического состояния ландшафтов для целей градостроительного регулирования — на основании трудов Е.П. Соколовой.

Основываясь на теоретических и эмпирических методах, в рамках исследования предложены меры по совершенствованию системы обобщенной оценки урбанизированных территорий по четырем ключевым направлениям — экономическому, экологическому, социальному и градостроительному с дополненным перечнем критериальных показателей по каждому из них.

Цель исследования заключается в совершенствовании системы критериальных показателей комплексной оценки территорий, на материалах которой разрабатываются принципы эффективного управления городом как социо-эколого-экономической системой, позволяющие оптимизировать организационно-хозяйственный механизм, улучшить экологическую составляющую и развитие социальной сферы. Выбор показателей оценки городских территорий определяется критериями, позволяющими провести комплексную оценку таких территорий в зависимости от поставленных целей и задач ее проведения.

Совокупность исследуемых факторов развития территорий способствует улучшению условий жизнедеятельности городского населения, предопределяет перспективы развития города. Игнорирование же экологических проблем, проявляемое в отсутствии управленческих воздействий в сфере природоохранной деятельности, приведет к обратному эффекту и неизбежно повлечет за собой процесс деградации всей системы в целом [8]. Экономически эффективное и экологически целесообразное использование агроландшафтов является залогом безопасного, устойчивого и конкурентного развития урбанизированных территорий.

Материалы и методы. Динамика развития урбанизированных территорий усиливает внимание к вопросам градостроительной ценности территорий [9]. Градостроительное планирование является важным фактором в развитии территории. Оно должно учитывать эффективность эксплуатации земель, их категории и многочисленные факторы в области ограничения работы населения. В настоящее время градостроительная политика помогает внести баланс в отношении современной градостроительной культуры и архитектуры, являющейся культурно-историческим достоянием. Она оптимизирует ряд вопросов, связанных с архитектурой и планировкой города.

Комплексный подход в рамках развития муниципального образования включает в себя разработку стратегии и мероприятий по государственному воздействию с учетом социо-эколого-экономических приоритетов и целей региона.

Устойчивое развитие территорий, высокий уровень жизни и здоровья населения, а кроме того, государственная безопасность могут быть гарантированы только лишь при условии сбережения природных систем и укрепления соответствующего качества окружающей сферы. Для этого следует создавать и поочередно осуществлять

общую государственную политику в сфере экологии и градостроительства, нацеленную на охрану окружающей среды и разумное применение естественных ресурсов [10].

Таким образом, проводится выбор критериальных показателей, позволяющих оценить территории по четырем основным направлениям их использования [11]. Для более точного и достоверного прогноза дальнейшего развития территорий возникает необходимость в детальной оценке территорий. В связи с этим, целесообразно для каждого направления использования территорий выделить оценочные зоны:

I зона — оценка степени развитости инфраструктуры, II зона — анализ качественного состояния развития территорий, III зона — оценка уровня и значимости территории, IV зона — пофакторная характеристика территорий, V зона — выбор показателей, исходя из целей оценки. Количество оценочных зон и их показатели для каждого направления определяются в соответствии с целью оценки территорий. Матрица расчетов будет полноценной и многофакторной при одинаковом количестве показателей в каждой оценочной зоне (таблица 1).

Таблица 1

Показатели комплексной оценки городских территорий

Оценочные зоны	Направление оценки (присваивается балл по каждому критерию)			
	Экономическое	Экологическое	Социальное	Градостроительное
I зона	*Оценка производительных сил:* 1) соответствие трудового потенциала кадровому спросу; 2) наличие различных форм производительных сил, доступность финансового капитала; 3) наличие рынков сбыта продукции; 4) развитость инфраструктуры рынка; 5) наличие производственного опыта у трудоспособного населения.	*Оценка загрязнения атмосферы (зависит от суммарного показателя концентрации загрязняющих веществ C_i):* 1) C_i = 0 — 5 баллов; 2) C_i < ПДК$_i$ — 4 балла; 3) C_i = ПДК$_i$ — 3 балла; 4) C_i > ПДК$_i$ до 10 % — 2 балла; 5) C_i = ПДК$_i$ до 20 % — 1 балл; 6) C_i > ПДК$_i$ от 21 % и более — 0 баллов, *где ПДК — предельно допустимая концентрация.*	*Оценка мощности объектов обеспечения потребностей:* 1) прирост населения; 2) наличие обслуживающих предприятий и объектов; 3) наличие МФЦ; 4) наличие ЖКХ и ТСЖ; 5) радиус объектов обеспечения потребностей населения не более 500 м.	*Оценка степени развитости инфраструктуры инженерных сетей и коммуникаций (оцениваются качественные и количественные показатели коммуникативных сетей):* 1) электрические сети; 2) водоснабжение и водоотведение; 3) газоснабжающие сети; 4) технологические каналы; 5) теплоснабжающие сети.
II зона	*Экономическое развитие территорий:* 1) динамика валового регионального продукта на душу населения; 2) валовое накопление на душу населения; 3) прибыль деятельности организаций на одного занятого; 4) уровень рентабельности основных сфер экономики; 5) динамика чистого экспорта.	*Оценка состояния биоразнообразия и ландшафта:* 1) наличие экологических коридоров; 2) наличие лесных массивов и рекреационных зон; 3) видовое многообразие ландшафтов; 4) наличие агрокультурных ландшафтов; 5) наличие картографической основы территории.	*Оценка эстетического восприятия территории:* 1) наличие достопримечательностей; 2) наличие экотроп; 3) наличие аквакультурных территорий; 4) наличие смотровых площадок; 5) наличие объектов художественного и творческого развития.	*Развитие сферы благоустройства территории:* 1) наличие территорий общего пользования; 2) деление территорий по функциональным зонам; 3) искусственно озелененные территории; 4) эстетические удобства для отдыха населения; 5) устройство осветительных установок.
III зона	*Уровень и качество жизни населения:* 1) динамика среднедушевых доходов населения; 2) динамика среднедушевых расходов на потребление населением материальных благ и услуг; 3) обеспеченность жильем и качество жилого фонда; 4) величина сбережений населения; 5) величина накопленного имущества.	*Характеристика гидрографической сети:* 1) по совокупности загрязняющих веществ в соответствии с ПДК; 2) наличие естественных природных водоемов; 3) наличие искусственно созданных водоемов; 4) наличие водоохранных зон; 5) наличие действующих программ по защите и восстановлению водного бассейна.	*Историко-культурная значимость территории:* 1) памятники архитектуры и искусства; 2) объекты культурного наследия; 3) музеи и государственные архивы; 4) историческая застройка; 5) археологически значимые территории.	*Оценка жилого фонда:* 1) отсутствие аварийного жилого фонда; 2) наличие благоустроенных придомовых территорий; 3) доступность к объектам маломобильных групп населения; 4) наличие инженерных сетей в жилом фонде; 5) ликвидность жилого фонда.

Оценочные зоны	Направление оценки (присваивается балл по каждому критерию)			
	Экономическое	Экологическое	Социальное	Градостроительное
IV зона	*Ценообразование на рынке недвижимости:* 1) наличие домов различного ценового сегмента; 2) положительная динамика в сфере продаж недвижимости; 3) соотношение машиномест с количеством квартир; 4) наличие конкурентов; 5) соблюдение сроков сдачи недвижимости.	*Оценка радиационного состояния:* 1) отсутствие источников загрязнения; 2) разделение персонала на предприятиях на группы А и Б; 3) наличие защитных барьеров на предприятиях; 4) регистрация доз облучения персонала; 5) уровень радиации не превышает ПДК.	*Оценка экокультуры и просвещения:* 1) наличие библиотечных фондов; 2) открытое информационное пространство; 3) открытость СМИ; 4) систематические мероприятия по экологическому просвещению населения; 5) наличие системы оповещения населения	*Оценка фактора рекреационной ценности территорий:* 1) наличие туристических зон; 2) благоустроенные территории общего пользования; 3) наличие особо охраняемых природных территорий; 4) наличие парковой зоны; 5) оборудованные спортивные площадки.
V зона	*Оценка показателей рынка жилой недвижимости:* 1) наличие квартир с отделкой и без отделки; 2) наличие реализованных жилищных программ; 3) соответствие рыночной и кадастровой стоимости; 4) наличие ипотечного кредитования; 5) наличие различных типов домов.	*Оценка состояния почв:* 1) соответствующий окислительно-восстановительный потенциал; 2) отсутствие тяжелых металлов в почве; 3) соответствующая мощность гумусового горизонта в почве; 4) наличие макроэлементов; 5) отсутствие патогенных бактерий в почве.	*Оценка объектов социокультурного назначения:* 1) наличие информации об объектах архитектуры; 2) наличие объектов культурного наследия; 3) наличие объектов археологического наследия; 4) наличие объектов историко-культурного значения; 5) наличие объектов здравоохранения и образования.	*Оценка транспортной инфраструктуры:* 1) благоустроенная пешеходная зона; 2) наличие подъездных путей к удаленным промышленным комплексам; 3) наличие железнодорожной сети; 4) наличие 2-х и более видов общественного транспорта; 5) наличие систем навигации.

Предложенную систему оценки состояния территории можно считать многофакторной. Факторы и критерии оценивания выделяются в оценочные зоны в зависимости от целей проведения комплексной оценки и дальнейшего применения материалов оценки в системе планирования и прогнозирования использования территорий.

Совершенствование системы управления затратами путем внедрения комплексной оценки результатов градостроительных, социально-экономических и природоохранных мероприятий позволит своевременно выявлять проблемные направления в области использования земель на местном уровне. Тем самым появится возможность оценки потерь, вызванных недостаточным вниманием к проблемам сохранения и восстановления качества используемых территорий и окружающей среды, а также станет возможным учет совокупного результата природопользования для развития города [12]. Материалы комплексной оценки территорий позволяют оптимизировать организационно-хозяйственный механизм урбанизированных ландшафтов, рассчитать и спрогнозировать градостроительные и природоохранные затраты и мероприятия, способствующие улучшению условий жизнедеятельности городского населения и предопределяющие перспективы развития города.

Комплексная оценка территорий является не только основополагающей базой в системе перспективного планирования и проектирования территорий, но и основой для финансово стабильного и экономически выгодного природообустройства. Материалы комплексной оценки служат основой для разработки градостроительных, социально-экономических и природоохранных мероприятий и расчета стоимости на восстановление и развитие территорий [13].

Результаты исследования. Формирование критериальных показателей в соответствии с выбранными направлениями оценки, количеством оценочных блоков происходит в соответствии с заявленными целями оценки. Достижение устойчивого развития территорий зависит от поставленных целей в области социальной, экономической, экологической и градостроительной политики региона, определенных стратегией его развития. Именно этим обоснован выбор критериев и критериальных показателей. Последние, в свою очередь, суммируются по условно выделенным оценочным зонам и представляются в укрупненном виде. Агрегированный расчет комплексной оценки территории (P) представлен в таблице 2.

Оценка по каждому отдельно взятому блоку дает возможность выявить дисбаланс в системе землепользования, возникающий в процессе использования территорий, и позволяет достичь экологически сбалансированного развития территорий [14]. Необходимость введения коэффициента весомости оценочного фактора [15] определяется в зависимости от специфики оцениваемой территории. Организация территории в целях комплексного ее освоения и развития требует проведения комплексной оценки не только ее физического состояния, но и соблюдения всех градостроительных регламентов.

Таблица 2

Агрегированный расчет комплексной оценки территории

Вид оценки (j)	Экономические оценочные значения (X)	Экологические оценочные значения (Y)	Социальные оценочные значения (Z)	Градостроительные значения (G)	Итого
I	X_1	Y_1	Z_1	G_1	$P = P_X + P_Y + P_Z + P_G$
II	X_2	Y_2	Z_2	G_2	
III	X_3	Y_3	Z_3	G_3	
IV	X_4	Y_4	Z_4	G_4	
V	X_5	Y_5	Z_5	G_5	
Результат оценки по j виду оценки (P_j)	$P_x = \sum X_i$	$P_y = \sum Y_i$	$P_z = \sum Z_i$	$P_g = \sum G_i$	
Максимальный балл оценки	25	25	25	25	100

В таблице: P_j — результат оценки территории по j виду оценки; X_i, Y_i, Z_i, G_i — оценочный балл по j виду оценки; n — количество оценочных зон, равное 5.

Скорректировать и спрогнозировать развитие территорий можно, лишь проводя мониторинг их состояния. На основании полученных данных проводится оценка выявленных проблем на территории муниципального образования, и разрабатываются пути решения проблем, устанавливаются сроки их ликвидации, рассчитываются и обосновываются затраты.

Результат оценки территории по каждой отдельно взятой оценочной зоне позволяет разработать природоохранные мероприятий и рассчитать стоимость восстановления и развития территорий.

В процессе анализа территорий в системе перспективного планирования и проектирования оцениваемые участки территории относят к определенным зонам, выделенным по степени ценности.

Результаты комплексной оценки территорий для дальнейшей проработки мероприятий по защите и восстановлению агроландшафтов целесообразно отображать в виде шкалы качественной оценки. Стобалльная шкала оценки ценностной характеристики территории, представленная в таблице 3, позволяет выделить пять типов оценки по шкале качественной оценки территории и определить приоритетные направления ее развития.

Таблица 3

Шкала качественной оценки территории

Совокупный оценочный балл	91 – 100	75 – 90	61 – 74	41 – 60	менее 41
Шкала качественной оценки	Наивысшая оценка	Относительно высокая оценка	Средняя оценка	Относительно низкая оценка	Низшая оценка
Приоритетные направления развития территорий	Территории, пригодные для конкурентного, устойчивого и безопасного развития	Территории, пригодные для формирования зон динамичного экономического роста	Территории, пригодные для создания условий для отдыха, восстановления здоровья, строительства малоэтажных зданий и зданий средней этажности	Территории, не соответствующие уровню комфортности городской среды по требованиям населения	Территории, использование которых не соответствует предусмотренной системе планирования
Рекомендуемые мероприятия	Определение приоритетов развития пространственной структуры территорий	Выявление несоответствия в системе планирования и прогнозирования развития ландшафтов	Разработка целевых долгосрочных программ, направленных на защиту и восстановление природных ресурсов и окружающей среды	Развитие всех видов инфраструктуры территорий в соответствии со стратегией ее планировочной организации	Обустройство в соответствии с предусмотренной системой планирования, решение проблем инженерной и социальной инфраструктуры

Обсуждение и заключение. Оценка и составление прогнозов развития урбанизированных территорий позволяют организовать рациональное использование городских ландшафтов. Полученные в результате совершенствования системы комплексной оценки территорий материалы направлены на:

– выявление и организацию планировочных зон;
– определение инвестиционной привлекательности территорий;
– уменьшение степени влияния и устранение техногенной нагрузки на урбанизированные территории;
– разработку природоохранных мероприятий и расчет стоимости на восстановление и развитие территорий;
– создание пространственно-временной структуры распространения и распределения загрязнений;
– выявление нарушений в использовании земель поселений [17].

Предложенная в работе методика оценки урбанизированных территорий способствует эффективному и рациональному использованию ресурсов территорий и их дальнейшему развитию.

Список литературы

1. Шевченко О.Ю., Аксенова Е.Г., Ткаченко А.С. Влияние развития и размещения производительных сил на состояние окружающей природной среды. *Экономика и экология территориальных образований.* 2016(2):86–90. URL: http://eco.e.donstu.ru/upload/iblock/9aa/st_16.pdf (дата обращения: 24.06.2023).

2. Ovchinnikova N., Burdova D., Garanova M. Arrangement for Rational Use and Conservation of Land Resources in Rostov Region. *Topical Problems of Green Architecture, Civil and Environmental Engineering 2019 (TPACEE 2019).* 2020;164:07005. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016407005

3. WÓJCIK-LEŃA J., SOBOLEWSKAMIKULSKA K., SAJNÓG N., LEŃ P. THE IDEA OF RATIONAL MANAGEMENT OF PROBLEMATIC AGRICULTURAL AREAS IN THE COURSE OF LAND CONSOLIDATION. *LAND USE POLICY*. 2018;78:36–45. HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.LANDUSEPOL.2018.06.044

4. Lengoiboni M., Richter C., Zevenbergen J. Cross-Cutting Challenges to Innovation in Land Tenure Documentation. *Land Use Policy*. 2019;85:21–32. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.03.023

5. Han W., Zhang X., Zheng X. Land use regulation and urban land value: Evidence from China. *Land Use Policy*. 2020;92:104432. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104432

6. Ovchinnikova N., Batranyuk M., Zhidkova E., Lazebnaya Y., Timofeeva V. Main Areas of Land Use in Municipal Entity. *Innovative Technologies in Science and Education (ITSE-2020).* 2020;210:09004. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021009004

7. Aksenova EG, Aksenov AA, Shevchenko OY. Formation of Benchmark Indicators and the Integrated Evaluation of Territories. In: *Proceedings of the International Scientific Conference "Competitive, Sustainable and Secure Development of the Regional Economy: Response to Global Challenges" (CSSDRE 2018). Series:Advances in Economics, Business and Management Research (AEBMR)*. Netherlands: Atlantis Press; 2018. P. 292–296. https://doi.org/10.2991/cssdre-18.2018.62

8. Шеина С.Г., Бабенко Л.Л., Матвейко Р.Б., Хамавова А.А. *Комплексная оценка территории в градостроительстве.* Монография. Ростов-на-Дону: РГСУ; 2014. 100 с.

9. Соколова Е.П. *Оценка экологического состояния города для целей градостроительного регулирования.* Автореферат диссертации кандидата географических наук. Москва: Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (МГУ); 2018. 27 с.

10. Аксенова Е.Г. Критерии эколого-экономической эффективности природоохранной деятельности в городских условиях. *Инженерный вестник Дона.* 2012;4(1):100. URL: http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p1y2012/1062 (дата обращения: 25.06.2023).

11. Волгин Д.Б. Методика пофакторной экологической оценки городской территории. *Точная наука.* 2017;11:85–92. URL: https://t-nauka.ru/wp-content/uploads/v11.pdf (дата обращения: 22.06.2023).

12. Москаленко А.П. *Социальный и эколого-экономический механизм принятия инвестиционных решений в природопользовании*. Монография. Новочеркасск: УПЦ «Набла» ЮРГТУ (НПИ); 2014. 313 с.

13. Даванков А.Ю., Верещагина Т.А., Грязев М.А. Социо-эколого-экономическая эффективность территории. *Экономический анализ: теория и практика.* 2010;12(177):11–18.

14. Петрищев В.П., Дубровская С.А. Методика комплексной оценки экологического состояния городских территорий. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук.* 2013; 15(3):234–238.

15. Аксенова Е.Г. *Комплексная эколого-экономическая оценка состояния городских территорий в целях обеспечения устойчивой системы природопользования.* Автореферат диссертации кандидата экономических наук. Ростов-на-Дону: РГСУ; 2013. 24 с.

16. Аксенов А.А. *Рынок жилья и формирование социальной защиты населения.* Диссертация кандидата экономических наук. Ростов-на-Дону: Северо-Кавказская академия государственной службы; 2004.

17. Беспалов В.И., Максюкова Ю.Ю. Методика комплексной социо-эколого-экономической оценки состояния застроенных территорий. *Экология человека.* 2007(4):17–19.

References

1. Shevchenko OYu, Aksenova EG, Tkachenko AS. Vliyanie Razvitiya i Razmeshcheniya Proizvoditel'nykh Sil na Sostoyanie Okruzhayushchei Prirodnoi Sredy. *Economy and Ecology of Territorial Formations.* 2016(2):86–90. (In Russ.). URL: http://eco.e.donstu.ru/upload/iblock/9aa/st_16.pdf (accessed: 24.06.2023).
2. Ovchinnikova N, Burdova D, Garanova M. Arrangement for Rational Use and Conservation of Land Resources in Rostov Region. *Topical Problems of Green Architecture, Civil and Environmental Engineering 2019 (TPACEE 2019).* 2020;164:07005. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016407005
3. Wójcik-Leńa J, SobolewskaMikulska K, Sajnóg N, Leń P. The Idea of Rational Management of Problematic Agricultural Areas in the Course of Land Consolidation. *Land Use Policy*. 2018;78:36–45. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.06.044
4. Lengoiboni M, Richter C, Zevenbergen J. Cross-Cutting Challenges to Innovation in Land Tenure Documentation. *Land Use Policy*. 2019;85:21–32. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.03.023
5. Han W, Zhang X, Zheng X. Land Use Regulation and Urban Land Value: Evidence From China. *Land Use Policy*. 2020;92:104432. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104432
6. Ovchinnikova N, Batranyuk M, Zhidkova E, Lazebnaya Y, Timofeeva V. Main Areas of Land Use in Municipal Entity. *Innovative Technologies in Science and Education (ITSE-2020)*. 2020;210:09004. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021009004
7. Aksenova EG, Aksenov AA, Shevchenko OY. Formation of Benchmark Indicators and the Integrated Evaluation of Territories. In: *Proceedings of the International Scientific Conference "Competitive, Sustainable and Secure Development of the Regional Economy: Response to Global Challenges" (CSSDRE 2018). Series:Advances in Economics, Business and Management Research (AEBMR)*. Netherlands: Atlantis Press; 2018. P. 292–296. https://doi.org/10.2991/cssdre-18.2018.62
8. Sheina SG, Babenko LL, Matveiko RB, Khamavova AA. *Kompleksnaya Otsenka Territorii v Gradostroitel'stve*. Monograph. Rostov-on-Don: Rostov State Civil Engineering University Publ.; 2014. 100 p. (In Russ.).
9. Sokolova EP. *Otsenka Ehkologicheskogo Sostoyaniya Goroda dlya Tselei Gradostroitel'nogo Regulirovaniya*. Extended Abstract of Dr.Sci. (Geography) Dissertation. Moscow: Moscow State University Named After MV Lomonosov; 2018. 27 p. (In Russ.).
10. Aksenova EG. Criteria of Ecological-Economic Efficiency of Environmental Activities in the Urban Environment. *Engineering journal of Don*. 2012;4(1):100. (In Russ.). URL: http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p1y2012/1062 (accessed: 25.06.2023).
11. Volgin DB. Methodology for the Environmental Assessment of Urban Areas. *Tochnaya Nauka*. 2017;11:85–92. (In Russ.). URL: https://t-nauka.ru/wp-content/uploads/v11.pdf (accessed: 22.06.2023).
12. Moskalenko AP. Sotsial'nyi i *Ehkologo-Ehkonomicheskii Mekhanizm Prinyatiya Investitsionnykh Reshenii v Prirodopol'zovanii*. Monograph. Novocherkassk: Job Training Center "Nabla" of South Russian State Technical University (Novocherkassk Polytechnic Institute); 2014. 313 p. (In Russ.).
13. Davankov AYu, Vereshchagina TA, Gryazev MA. Sotsio-Ehkologo-Ehkonomicheskaya Ehffektivnost' Territorii. *Economic Analysis: Theory and Practice*. 2010;12(177):11–18. (In Russ.).
14. Petrishchev VP, Dubrovskaya SA. Method of Comprehensive Environmental Assessment of Urban Areas. Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2013;15(3):234–237. (In Russ.).
15. Aksenova EG. *Kompleksnaya Ehkologo-Ehkonomicheskaya Otsenka Sostoyaniya Gorodskikh Territorii v Tselyakh Obespecheniya Ustoichivoi Sistemy Prirodopol'zovaniya*. Extended Abstract of Dr.Sci. (Economics) Dissertation. Rostov-on-Don: Rostov State Civil Engineering University; 2013. 24 p. (In Russ.).
16. Aksenov AA. Rynok *Zhil'ya i Formirovanie Sotsial'noi Zashchity Naseleniya*. Dr.Sci. (Economics) Dissertation. Rostov-on-Don: North-Caucasus Academy of Public Administration; 2004. (In Russ.).
17. Bespalov VI, Maksyukova YuYu. Technique of the Complex Socially Ecologically Economic Estimation of the Condition of the Built Up Territories. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2007(4):17–19. (In Russ.).

Поступила в редакцию 11.08.2023
Поступила после рецензирования 19.08.2023
Принята к публикации 29.08.2023

Об авторах:

Аксенов Алексей Александрович, доцент кафедры «Экономика» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат экономических наук, доцент, ScopusID, ORCID, alexey_2002@mail.ru

Аксенова Елена Геннадьевна, доцент кафедры «Экономика природопользования и кадастра» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат экономических наук, доцент, ScopusID, ORCID, L89188943099@yandex.ru

Заявленный вклад соавторов:

Е.Г. Аксенова — формирование основной концепции, постановка цели и задачи исследования, обоснование методики, подготовка текста, формирование выводов.

А.А. Аксенов — научное руководство, анализ результатов исследования, доработка текста, корректировка выводов.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Received 11.08.2023
Revised 19.08.2023
Accepted 29.08.2023

About the Authors:

Alexey A. Aksenov, Cand.Sci.(Economics), Associate Professor of the Economics Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), ORCID, alexey_2002@mail.ru

Elena G. Aksenova, Cand.Sci.(Economics), Associate Professor of the Environmental Economics and Cadastre Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), ScopusID, ORCID, L89188943099@yandex.ru

Claimed contributorship:

EG Aksenova — formulating the main concept, setting the goal and objectives of the research, justification of the methodology, preparing the text, drawing the conclusions.

AA Aksenov — scientific supervision, analysis of the research results, refining the text, correcting the conclusions.

Conflict of interest statement: the authors do not have any conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.





УДК 69.003

Научная статья

https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-3-93-103



Оценка напряженно-деформированного состояния оснований зданий с гибкой конструктивной схемой при неравномерном напластовании грунтов

В.Н. Жур ✉, **А.Р. Пасько**

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

✉ gvn.07@mail.ru

Аннотация

Введение. Одной из основных проблем при эксплуатации зданий и сооружений является вероятность их повреждения в результате неравномерных деформаций грунтового основания, спровоцированных различными природно-техногенными причинами. Для установления возможного характера и степени повреждений надземных конструкций необходимо рассчитывать величину относительной разности осадок основания под подошвой фундаментов. Осадка основания рассчитывается в пределах сжимаемой толщи с использованием величин удельного веса и модуля деформации грунта. Приращение осадки обуславливается приростом вертикальных напряжений в массиве и повышением деформируемости грунта при увеличении влажности. Целью исследования является установление зависимости величины относительной разности осадок от деформационных свойств грунтов при неравномерном залегании слоев для прогнозирования характера повреждения надземных конструкций.

Материалы и методы. Рассмотрен пример расчета деформаций основания в уровне подошвы отдельно стоящих фундаментов здания с гибкой конструктивной схемой. Применена модель напластования двух разнородных инженерно-геологических элементов с уклоном границы 1:4 и различающимися физико-механическими свойствами. Принято, что один из инженерно-геологических элементов обладает пригодными характеристиками для опирания на него фундаментов здания без предварительной инженерной подготовки. Другой инженерно-геологический элемент обладает значительно худшими параметрами. Расчеты произведены в соответствии с методикой определения осадки методом послойного суммирования.

Результаты исследования. Установлена закономерность в изменении величины прогнозируемой осадки от соотношения мощности залегания надежного и слабого грунта при неравномерном напластовании. Доказано, что разность между величиной удельного веса разнородных пластов в пределах 10 % никак не влияет на глубину сжимаемой толщи при расчете осадки методом послойного суммирования.

Обсуждение и заключения. Проведен анализ результатов расчета осадки основания равноудаленных друг от друга столбчатых фундаментов, предложено инженерное решение, обеспечивающее надежность по группам предельных состояний.

Ключевые слова: фундаменты, неравномерные деформации, послойное суммирование, разность осадок

Для цитирования. Жур В.Н., Пасько А.Р. Оценка напряженно-деформированного состояния оснований зданий с гибкой конструктивной схемой при неравномерном напластовании грунтов. *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий*. 2023;2(3):93–103 https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-3-93-103

Original article

Stress-Strain State Assessment of Building Subfoundations Having Flexible Constructive Scheme in Irregular Soil Stratification

Vyacheslav N. Zhur ✉, **Aleksander R. Pasko**

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

✉ gvn.07@mail.ru

Abstract

Introduction. One of the main problems in the operation of buildings and structures is possibility of their damage due to non-uniform deformation of subfoundation soil caused by the various natural and technogenic factors. To establish the possible character and degree of damage of the above-surface structures, it is necessary to calculate the value of subfoun-

dation relative differential settlement at the level beneath the foundation bottom. The subfoundation settlement is calculated within the compressible soil thickness using the specific gravity values and soil deformation modulus. The increment of settlement is induced by the increase of vertical stresses in the massif and increase of soil deformability upon growth of moisture. The purpose of the study is to establish the dependence of the magnitude of the relative difference in settlement on the deformation properties of soils with uneven occurrence of layers in order to predict the nature of damage to above-ground structures.
Materials and Methods. An example of subfoundation deformation calculations at the bottom level of the free-standing foundations of a building having flexible constructive scheme has been studied. A model of stratification of two heterogeneous geotechnical elements with a 1:4 boundary slope and differing physical and mechanical properties has been used. It has been assumed that one of the geotechnical elements has natural properties enabling the building foundations to rest on it without prior site preparation. Another geotechnical element has significantly worse properties. The calculations on determining the settlement have been made in accordance with the layer-wise summation methodology.
Results. The regularity in alteration of the predicted settlement value depending on the ratio of firm and soft soils thickness in the irregular stratification has been established. It has been proven that the difference between the specific gravity values of the heterogeneous beds within 10 % does not affect the depth of compressible soil thickness if the calculation of settlement is made using the layer-wise summation methodology.
Discussion and conclusions. The calculation results analysis of the subfoundation settlement of the equidistant column foundations was carried out, the engineering solution was proposed to ensure reliability per limit state groups.

Key words: foundations, non-uniform deformation, layer-wise summation, difference of soil settlements

For citation. Zhur VN, Pasko AR. Stress-Strain State Assessment of Building Subfoundations Having Flexible Constructive Scheme in Irregular Soil Stratification. *Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning.* 2023;2(3):93–103 https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-3-93-103

Введение. Для современного этапа экономического и общественного развития в России характерно расширение строительного производства и проведение масштабного строительства в крупных городах — мегаполисах. Данный процесс сопровождается постоянным ростом сложности возводимых объектов и условий, в которых осуществляется их строительство. В связи с этим ставятся новые задачи по обеспечению безопасности жизнедеятельности в условиях мегаполиса, определяющиеся надежностью самих строящихся сооружений и осуществлением строительного процесса в условиях действующей инфраструктуры [1, 2].

Одной из основных проблем при эксплуатации зданий и сооружений в крупных городах является возможность их повреждения в результате неравномерных деформаций грунтового основания, спровоцированных различными природно-техногенными причинами. Особое значение приобретает необходимость контроля технического состояния несущих конструкций с целью предупреждения возникновения аварийных ситуаций и обоснованность выбора комплекса инженерных мероприятий по их недопущению [1, 2].

Очевидно, что оценка технического состояния несущей конструкции здания или сооружения должна быть своевременной. Необходимо предусмотреть возможность оценки изменений по различным критериям, основанной на процедурах выявления соответствия фактических параметров нормативным требованиям к прочности, жесткости и устойчивости элементов конструкции [2].

В современном строительстве очень часто встречаются объекты с гибкой конструктивной схемой, например, промышленные здания с металлическими фермами или балками. Их особенностью является то, что закрепление фермы или балки с колонной, стеной осуществляется через шарнир, то есть посредством реализации подвижной схемы. Важно учесть, что основным признаком гибкой конструктивной схемы является отсутствие жесткой заделки в местах соприкосновения основных несущих элементов и опор.

При неравномерном напластовании грунтов выделяют следующие схемы деформирования основания (рис. 1):
- выклинивание слоев;
- линзообразное залегание;
- прогиб при неоднородном залегании;
- выгиб при неоднородном залегании [3].

Выклинивание слоев происходит из-за того, что более сильный грунт вытесняет более слабый. Данное явление может возникнуть в результате землетрясений, суффозионного выноса частиц грунта в части основании под зданием. Причиной линзообразного и неоднородного залегания слоев может быть техногенное воздействие, например, при вертикальной планировке тальвегов и балок насыпными грунтами. Вышеописанные ситуации возникают в условиях залегания органоминеральных, насыпных и других видов структурно-неустойчивых грунтов.

Разрушение структурных связей между отдельными частицами при водонасыщении увеличивает деформируемость грунта и повышает вероятность развития сил морозного пучения. Например, у просадочных или органо-минеральных грунтов может наблюдаться четырехкратное снижение величины модуля деформации [4–6].

а) *б)* *в)* *г)*

— грунт с нормальной несущей способностью — слабый грунт

Рис. 1. Схемы деформирования основания при неравномерном напластовании грунтов: *а* — выклинивание слоев; *б* — линзообразное залегание; *в* — прогиб при неоднородном залегании; *г* — выгиб при неоднородном залегании

При выявлении подобных схем неравномерного залегания инженерно-геологических элементов целесообразно выбирать такие размеры контактной части фундамента, которые смогут обеспечить равномерную осадку в пределах всей площади застройки. Для инженеров-строителей, специализирующихся на проектировании подземной части зданий, будет крайне удобным иметь типовые справочные данные при оценке вероятности неравномерных осадок основания. В целях получения такого массива данных предлагается выполнить ряд расчетных операций по определению относительной разности осадок основания при различных вариациях напластования слабых и структурно устойчивых грунтов. Поэтому целью исследования является установление зависимости величины относительной разности осадок от деформационных свойств грунтов при неравномерном залегании слоев для прогнозирования характера повреждения надземных конструкций.

Материалы и методы. При передаче нагрузок на основание в массиве грунта формируется напряженно-деформируемое состояние, описываемое четырьмя основными фазами.

Выделяются следующие фазы: I — упругая; II — уплотнение; III — сдвиг; IV — разрушение (выпор) грунта (рис. 2). В первой фазе упругие деформации малы (ими можно пренебречь), являются обратимыми, обеспечены только структурной прочностью. Вторая фаза характеризуется развитием пластических деформаций, обусловленных уменьшением объема пор. Перемещения частиц грунта направлены преимущественно по вертикали, под подошвой формируется область (ядро) уплотненного грунта. Выход областей сдвига на поверхность грунта приводит к наступлению третьей фазы — разрушению структуры основания с вертикальными и горизонтальными перемещениями частиц. Для четвертой фазы характерны многочисленные локальные разрушения скелета грунта, из-за которых грунт приобретает свойства жидкого тела [4, 7].

Принято считать, что фазы I и II отражают нормальное, контролируемое поведение грунта при воздействии нагрузок, в то время как наступление фаз III и IV несет угрозу нормальной эксплуатации здания. Переход из одной фазы в другую может быть не только за счет увеличения давления на массив, но и при снижении сопротивления грунта за счет увеличения влажности и деградации структуры, сопровождающейся приращением деформаций.

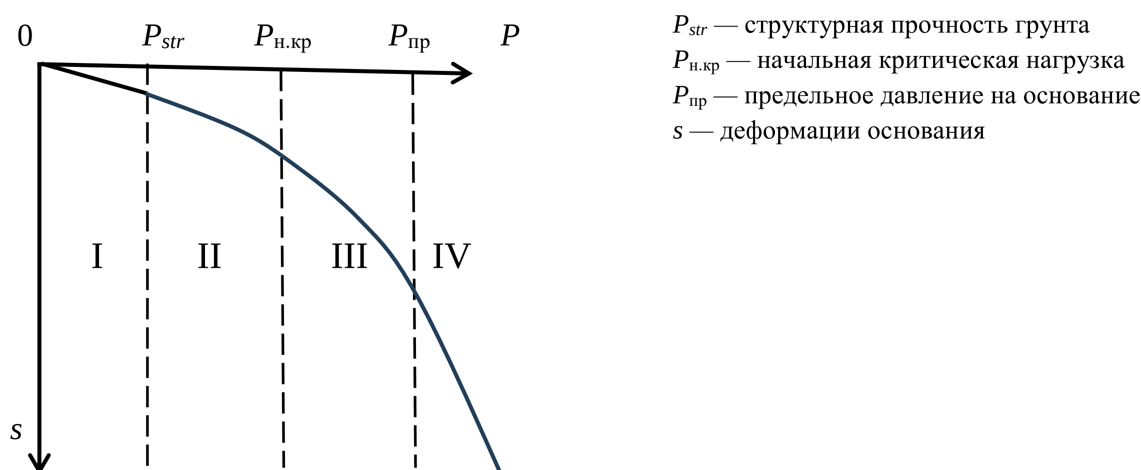


Рис. 2. Фазы напряженно-деформированного состояния грунта

При строительстве на основаниях с возможным неравномерным напластованием слоев важно учитывать то, что конструктивная схема здания должна быть гибкой. Для оценки напряженно-деформированного состояния оснований зданий нужно учитывать тип фундамента [8]. Для зданий с гибкой конструктивной схемой назначаются отдельно стоящие столбчатые фундаменты под колонны (рис. 3).

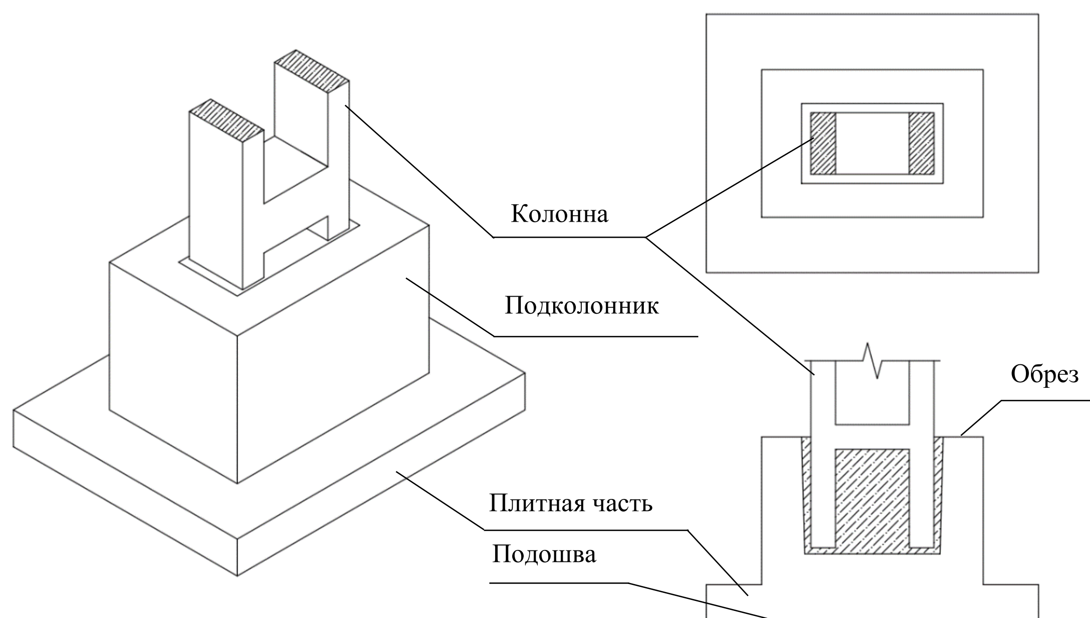


Рис. 3. Пример столбчатого фундамента под двухветвевую колонну

Дадим оценку напряженно-деформированного состояния оснований зданий с гибкой конструктивной схемой при неравномерном напластовании грунтов.

В качестве типового примера рассмотрим конструктивную систему из шести отдельно стоящих фундаментов и рассчитаем передаваемую на них нагрузку от вышележащих надземных конструкций в программном комплексе «STARK ES» (рис. 4). Благодаря возможности рассчитать самые неблагоприятные сочетания усилий в уровне обреза фундамента, принято среднее давление по его подошве 300 кПа.

Применена модель напластования двух разнородных инженерно-геологических элементов (далее — ИГЭ) с уклоном границы 1:4 и различающимися физико-механическими свойствами. Принято, что инженерно-геологический элемент № 1 значительно хуже по физико-механическим параметрам, чем инженерно-геологический элемент № 2, который обладает надежными характеристиками для опирания на него фундаментов здания без предварительной инженерной подготовки [9–11] (рис. 5).

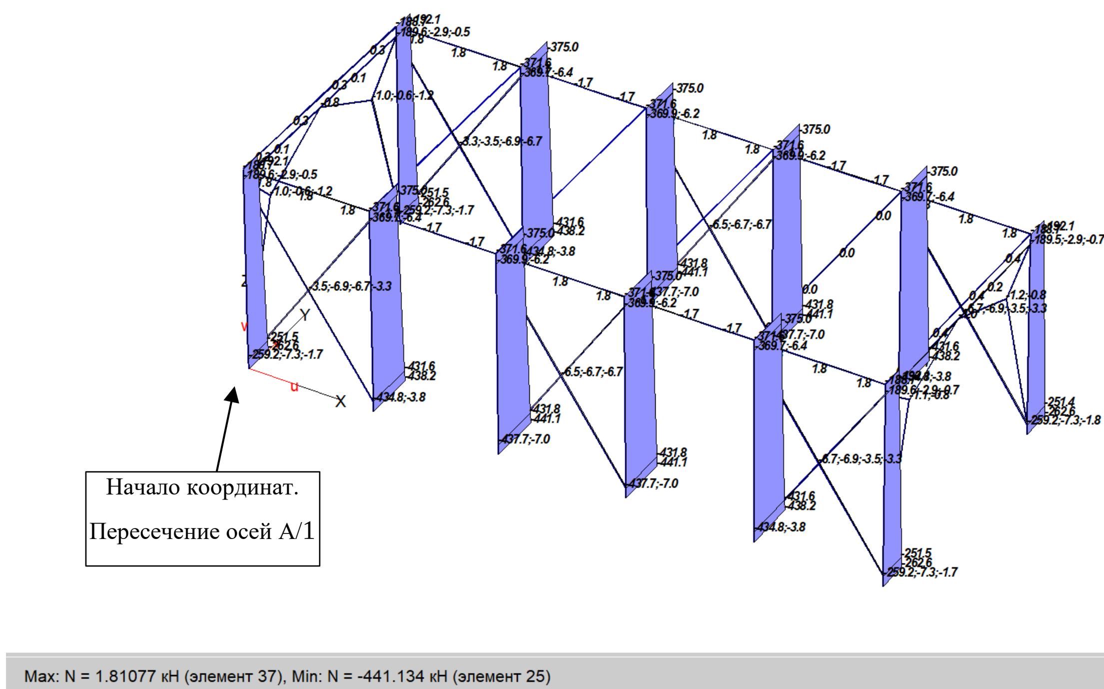


Рис. 4. Расчетная схема здания с усилиями

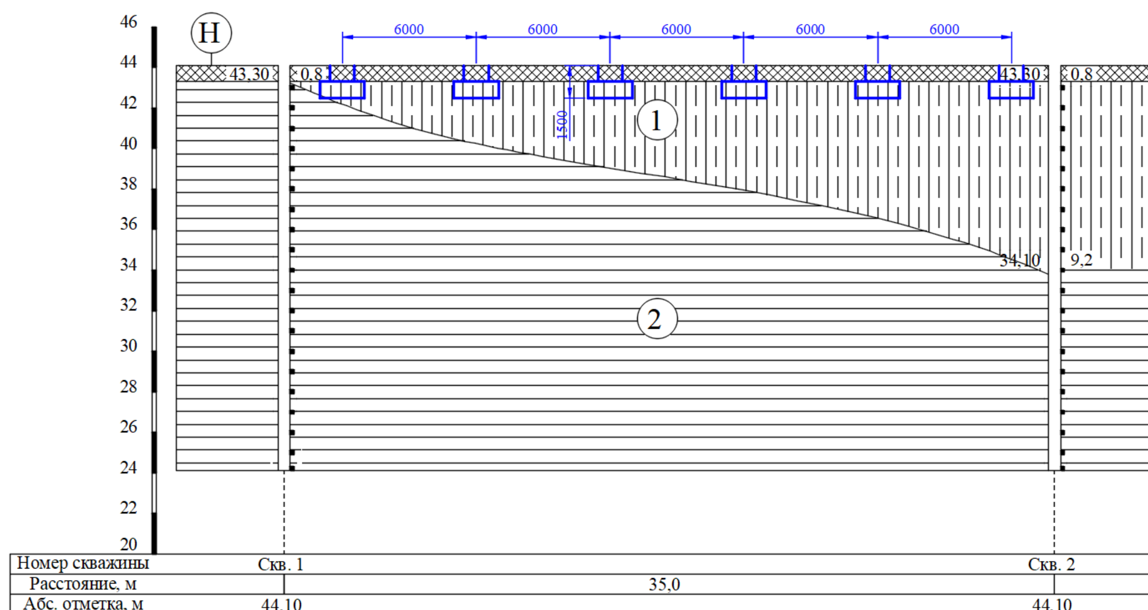


Рис. 5. Инженерно-геологический разрез

Конструктивная схема здания — гибкая, рамно-связевой стальной каркас без устройства дополнительных монолитных поясов или перекрытий. Согласно таблице Г1 СП 22.13330.2016[1] предельная средняя осадка для здания с вышеуказанной конструктивной схемой составляет 15 см.

Параметры фундаментов:

– тип — столбчатый под металлическую колонну;
– глубина заложения d = 1,5 м;
– ширина подошвы b = 2,1 м;
– соотношение сторон прямоугольной подошвы η = 1,4;
– шаг фундаментов в продольном направлении B = 6,0 м;
– среднее давление по подошве фундамента P = 300 кПа.

[1] СП 22.13330.2016 *«Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*».* Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. URL: https://docs.cntd.ru/document/456054206 (дата обращения: 05.04.2023)

Расчет ведется методом послойного суммирования в соответствии с п. 5.6.31 СП 22.13330.2016. Принятая толщина слоя $h_i = 0{,}4b = 0{,}84$ м. Количество слоев ориентировочно принято равным восьми.

Результаты исследования. Расчет параметров напряженно-деформированного состояния предполагается рассматривать при 2 вариантах характеристик грунта ИГЭ-1, который обладает худшими физико-механическими свойствами по сравнению с ИГЭ-2.

Первый вариант характеристик грунтов основания:

– ИГЭ-1 — дисперсный грунт, связный, с содержанием песчанистых частиц более 40 % по массе, удельный вес $\gamma = 17{,}1$ кН/м^3, модуль деформации $E = 11{,}0$ МПа;

– ИГЭ-2 — дисперсный грунт, связный, с содержанием песчанистых частиц менее 40 % по массе, удельный вес $\gamma = 19$ кН/м^3, модуль деформации $E = 22{,}2$ МПа.

В соответствии с моделью напластования грунтов рассчитаем осадку и глубину сжимаемой толщи для каждого фундамента. Результаты расчетов представлены в таблице 1.

Таблица 1

Расчет осадок основания фундаментов № 1–6 при 1-м варианте характеристик грунтов

№ фундамента	Расстояние от оси крайнего фундамента до оси *i*-го фундамента *X*, м	Абсолютная глубина нижней границы сжимаемой толщи $H_{нгст}$, м	Относительная глубина сжимаемой толщи $H_{нгст}/b$	Величина осадки *s*, м	Относительная разность осадок между соседними фундаментами $\Delta s/B$	Относительная разность осадок фундамента № 1 и *i*-го фундамента $\Delta s/B$
1	0	3,942	1,88	0,0285	0,0010	0,0010
2	6	3,967	1,89	0,0343	0,0006	0,0008
3	12	3,991	1,90	0,0379	0,0004	0,0007
4	18	4,016	1,91	0,0402	0,0003	0,0006
5	24	4,035	1,92	0,0417	0,0000	0,0004
6	30	4,035	1,92	0,0417	-	-

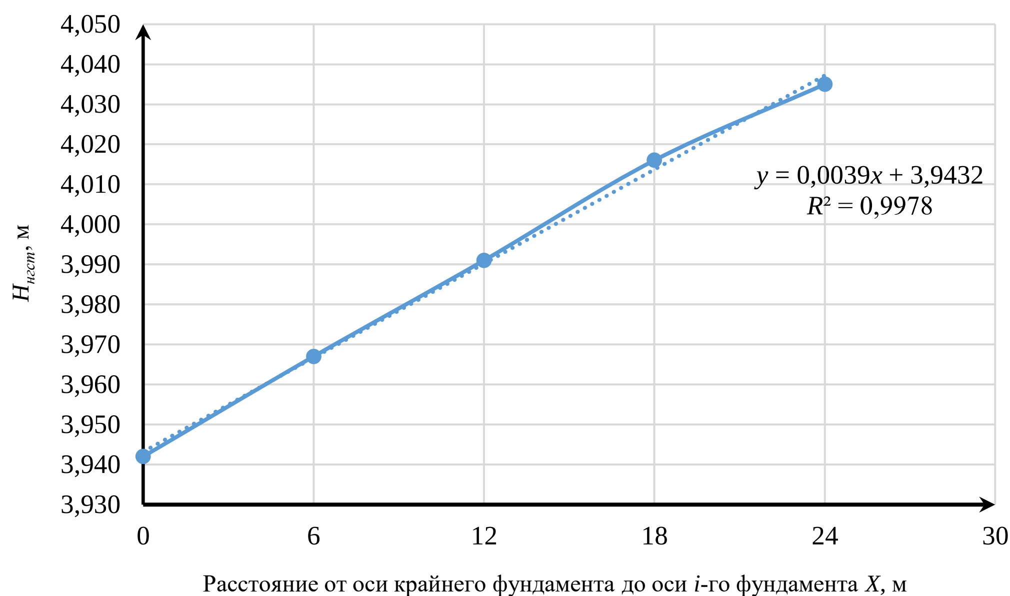


Рис. 6. График зависимости глубины нижней границы сжимаемой толщи от расстояния от оси крайнего фундамента до оси *i*-го фундамента (1 вариант)

Второй вариант характеристик грунтов основания:

– ИГЭ-1 — дисперсный грунт, связный, органоминеральный, высокопористый с содержанием песчанистых частиц менее 40 % по массе, удельный вес $\gamma = 16$ кН/м^3, модуль деформации $E = 5{,}6$ МПа;

– ИГЭ-2 — дисперсный грунт, связный, с содержанием песчанистых частиц менее 40 % по массе, удельный вес $\gamma = 19$ кН/м^3, модуль деформации $E = 22{,}2$ МПа.

В соответствии с моделью напластования грунтов рассчитаем осадку и глубину сжимаемой толщи для каждого фундамента. Результаты расчетов представлены в таблице 2.

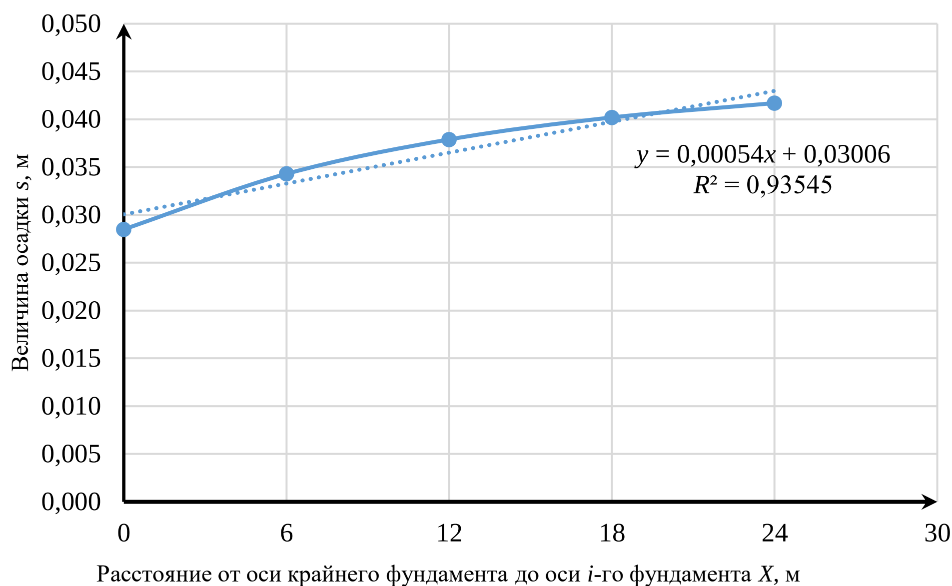


Рис. 7. График зависимости величины осадки от расстояния от оси крайнего фундамента до оси *i*-го фундамента (1 вариант)

Таблица 2

Расчет осадок основания фундаментов № 1–6 при 2-м варианте характеристик грунтов

№ фунда-мента	Расстояние от оси крайнего фундамента до оси *i*-го фундамента *X*, м	Абсолютная глубина нижней границы сжимаемой толщи $H_{нгст}$, м	Относительная глубина сжимаемой толщи $H_{нгст}/b$	Величина осадки *s*, м	Относительная разность осадок между соседними фундаментами Δ*s*/*B*	Относительная разность осадок фундамента №1 и *i*-го фундамента Δ*s*/*B*
1	0	3,982	1,90	0,0437	0,0028	0,0028
2	6	4,020	1,91	0,0608	0,0018	0,0023
3	12	4,059	1,93	0,0714	0,0011	0,0019
4	18	4,097	1,95	0,0780	0,0007	0,0016
5	24	4,133	1,97	0,0824	0,0000	0,0013
6	30	4,133	1,97	0,0824	-	-

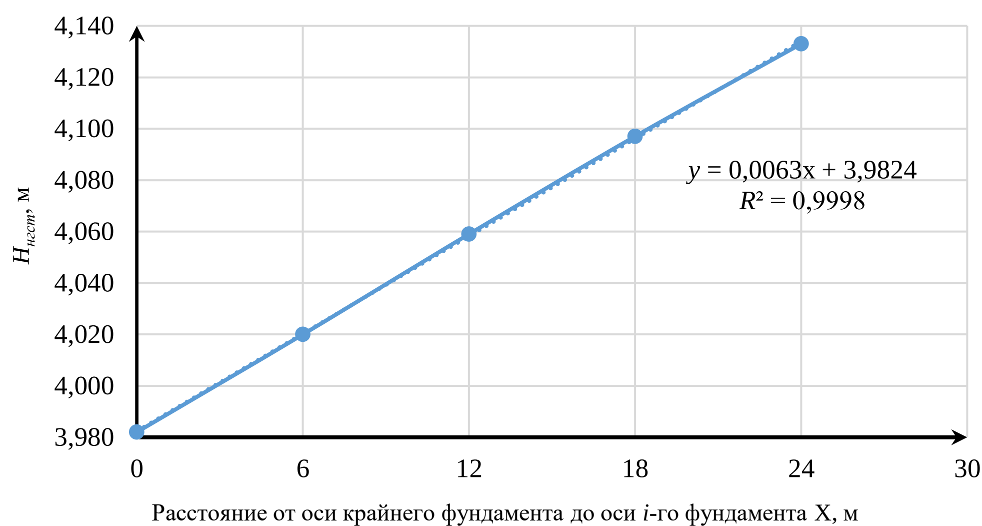


Рис. 8. График зависимости глубины нижней границы сжимаемой толщи от расстояния от оси крайнего фундамента до оси *i*-го фундамента (2 вариант)

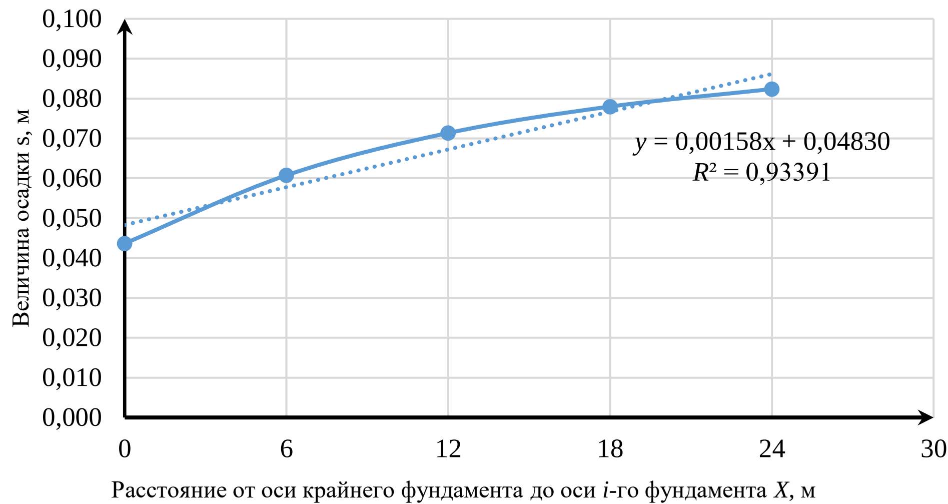


Рис. 9. График зависимости величины осадки от расстояния от оси крайнего фундамента до оси *i*-го фундамента (2 вариант)

При расчетах величины сжимаемой толщи при 1 варианте неоднородного напластования грунтов установлена линейная зависимость (рис. 6):

$$y = 0{,}0039x + 3{,}9432. \quad (1)$$

При расчетах величины сжимаемой толщи при 2 варианте неоднородного напластования грунтов установлена линейная зависимость (рис. 8):

$$y = 0{,}0063x + 3{,}9824. \quad (2)$$

Выполним замену переменных в уравнении:

y — глубина нижней границы сжимаемой толщи $H_{нгст}$;

x — расстояние до рассчитываемого фундамента в продольном направлении от начала координат $B_{x,i}$, в качестве которого выступает точка пересечения осей здания А/1 (рис. 4).

Константа в линейном уравнении (1), равная 3,9432 м — это начальная глубина расположения нижней границы сжимаемой толщи, зависящая от ширины подошвы b = 2,1 м фундамента, расположенного в точке пересечения осей А/1. Аналогично для уравнения (2), начальная глубина расположения нижней границы сжимаемой толщи равна 3,9824 м.

Тогда уравнения (1) и (2) примут вид:

$$H_{нгст} = 0{,}0039\ B_{x,i} + 1{,}9b. \quad (3)$$

$$H_{нгст} = 0{,}0063\ B_{x,i} + 1{,}9b. \quad (4)$$

Коэффициенты наклона аппроксимирующей прямой в уравнениях (3) и (4) выражают зависимость от изменения удельного веса при увеличении толщины залегания слабого грунта ниже подошвы фундамента.

Принято, что уклон границы между слоями грунта имеет соотношение 1:4. Тогда через каждые 6 м (расстояние между фундаментами вдоль пролета здания) глубина расположения кровли ИГЭ-2 будет увеличиваться на 1,5 м.

Запишем формулу для вычисления уклона границы между слоями грунта через величины ширины подошвы фундамента b и шаг колонн B:

$$i = 0{,}714b/B = 0{,}25. \quad (5)$$

При расчетах величины осадки при 1 варианте неоднородного напластования грунтов установлена линейная зависимость (рис. 7):

$$y = 0{,}00054x + 0{,}03006. \quad (6)$$

При расчетах величины осадки при 2 варианте неоднородного напластования грунтов установлена линейная зависимость (рис. 9):

$$y = 0{,}00158x + 0{,}04830. \quad (7)$$

Выполним замену переменных в уравнении:

y — величина осадки в рассматриваемом фундаменте s_i;

x — расстояние до рассчитываемого фундамента в продольном направлении от начала координат $B_{x,i}$, в качестве которого выступает точка пересечения осей здания А/1 (рис. 4).

Константа в линейном уравнении (6), равная 0,03006 м — это величина осадки под подошвой фундамента № 1, расположенного в точке пересечения осей А/1. Аналогично для уравнения (7), осадка под подошвой фундамента № 1, расположенного в точке пересечения осей А/1 составляет 0,04830.

Тогда уравнения (1) и (2) примут вид:

$$s_i = 0{,}00054\ B_{x,i} + 0{,}03006. \quad (8)$$

$$s_i = 0{,}00158\ B_{x,i} + 0{,}04830. \quad (9)$$

Коэффициенты наклона аппроксимирующей прямой в уравнениях (8) и (9) выражают зависимость от изменения модуля деформации при увеличении толщины залегания слабого грунта ниже подошвы фундамента.

На графиках (рис. 6–9) не показаны значения глубины нижней границы сжимаемой толщи и величины осадки для фундамента № 6, так как равны расчетным значениям для фундамента № 5.

Обсуждение и заключение. Результаты расчета параметров напряженно-деформированного состояния грунтового основания с неравномерным залеганием пластов при двух вариантах физико-механических свойств ИГЭ-1 позволяют сделать следующие выводы:

– при разности удельного веса грунта ИГЭ-1 и ИГЭ-2 в пределах 10 % и 16 % глубина нижней границы сжимаемой толщи изменяется не более чем на величину, равную 4 % и 7 % от подошвы фундамента соответственно;

– если модуль деформации ИГЭ-1 в 2 раза меньше модуля деформации ИГЭ-2, максимальное приращение осадки составляет 46 %, максимальная относительная разность осадок составляет 0,001, что не превышает предельно допустимых значений;

– если модуль деформации ИГЭ-1 в 4 раза меньше модуля деформации ИГЭ-2, максимальное приращение осадки составляет 88 %, максимальная относительная разность осадок составляет 0,0028, что не превышает предельно допустимых значений.

После обработки полученных результатов проявляется зависимость уменьшения или увеличения осадки от нескольких факторов:

– нагрузки на фундамент;
– типа слоев;
– количества и мощности слоев;
– геометрических размеров фундамента;
– глубины сжимаемой толщи.

При неравномерном напластовании грунтов нужно учитывать все вышеперечисленные факторы, чтобы уровнять глубину сжимаемой толщи и осадку здания. С целью анализа и расчета грунтового основания непосредственно перед строительством здания необходимо провести инженерно-геологические изыскания.

Характер залегания пластов грунтового основания практически не оказывает влияния на надежность зданий по II группе предельных состояний с гибкой конструктивной схемой и стальным каркасом. Глубина сжимаемой толщи при рассмотренном варианте залегания грунтов и физико-механических свойств ИГЭ-1 и ИГЭ-2 изменяется не более чем на 7 % от ширины подошвы фундаментов. Максимальная разность осадок не превышает предельно допустимое значение, что не влияет на эксплуатационную пригодность зданий с гибкой конструктивной схемой.

Список литературы

1. Далматов Б.И. *Механика грунтов, основания и фундаменты (включая специальный курс инженерной геологии)*: 7-е изд., стер. Санкт-Петербург: Лань; 2022. 416 с. URL: https://e.lanbook.com/book/254639 (дата обращения: 14.07.2023).

2. Шерешевский И.А. *Конструирование промышленных зданий и сооружений*. Москва: Архитектура-С; 2005. 168 с.

3. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения. Под общей ред. В.А. Ильичева и Р.А. Мангушева. Москва: Изд-во АСВ; 2014. 728 с.

4. Жур В.Н. Исследование влияния параметров инженерно-геологических элементов грунтовых оснований на величину осадки фундаментов. *Научное обозрение*. 2014;(9):859–863.

5. Прокопов А.Ю., Ткачева К.Э., Жур В.Н. *Анализ причин неравномерных деформаций основания металлического резервуара.* В: Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: материалы 11-й Международной конференции по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики. Под общей редакцией Р.А. Ковалева; 2015. С. 203.

6. Prokopov A, Zhur V, Medvedev A. *Application of The Cartographic Method of Research for the Detection of the Dangerous Zones of Mining Industrial Territories*. In: MATEC Web Conf. XXVII R-S-P Seminar, Theoretical Foundation of Civil Engineering (27RSP) (TFoCE 2018); 2018. 196 p.

7. Гридневский А.В. Комплексная оценка геологических опасностей территорий Ростовской области. *Инженерный вестник Дона*. 2013(3(26)). URL: http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1946 (дата обращения: 22.07.2023).

8. Коновалов П.А., Коновалов В.П. *Основания и фундаменты реконструируемых зданий:* Монография. М. Издательство Ассоциации строительных вузов; 2011. 384 с.

9. Прокопова М.В., Лукьянова Г.В. *О возможных изменениях свойств грунтов при увеличении уровня подземных вод*. В: «Строительство-2011»: материалы международной научно-практической конференции. Ростов-на-Дону: Рост. гос. строит. ун-т; 2011. С. 144–145.

10. Семененко А.И., Тимошенко М.С. Проблемы оценки геологического риска урбанизированных территорий. *Инженерный вестник Дона*. 2013(4(27)). URL: http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2204 (дата обращения: 04.07.2023).

11. Прокопов А.Ю., Прокопова М.В., Жур В.Н. *Исследование свойств лессовых просадочных грунтов Восточного Донбасса*. В: сборник научных трудов «Транспорт: наука, образование, производство. Том 2. Технические науки». Ростов-на-Дону: Рост. гос. ун-т путей сообщения; 2017. С. 354–358.

References

1. Dalmatov BI. *Mekhanika Gruntov, Osnovaniya i Fundamenty (Vklyuchaya Spetsial'nyi Kurs Inzhenernoi Geologii):* 7-th edition. Saint Petersburg: Lan' Publ.; 2022. 416 p. (In Russ.). URL: https://e.lanbook.com/book/254639 (accessed: 14.07.2023).

2. Shereshevskii IA. *Konstruirovanie Promyshlennykh Zdanii i Sooruzhenii. Manual for Students of Civil Engineering Majors*. Moscow: Arkhitektura-S Publ.; 2005. 168 p. (In Russ.).

3. Il'icheva VA, Mangusheva RA (eds). *Spravochnik Geotekhnika. Osnovaniya, Fundamenty i Podzemnye Sooruzheniya*. Moscow: ASV Publ.; 2014. 728 p. (In Russ.).

4. Zhur VN. Study of the Influence of the Parameters of Engineering-Geological Elements of Foundation Soils on the Scale of Foundations Settling. *Nauchnoe Obozrenie*. 2014; (9):859–863. (In Russ.).

5. Prokopov AYu, Tkacheva KEh, Zhur VN. *Analiz Prichin Neravnomernykh Deformatsii Osnovaniya Metallicheskogo Rezervuara.* In: Sotsial'no-Ehkonomicheskie i Ehkologicheskie Problemy Gornoi Promyshlennosti, Stroitel'stva i Ehnergetiki. Procedings of the 11th International Conference on the Problems of Mining, Construction and Energy. Kovalev RA (ed); 2015. P. 203. (In Russ.).

6. Prokopov A, Zhur V, Medvedev A. *Application of The Cartographic Method of Research for the Detection of the Dangerous Zones of Mining Industrial Territories*. In: MATEC Web Conf. XXVII R-S-P Seminar, Theoretical Foundation of Civil Engineering (27RSP) (TFoCE 2018); 2018. 196 p.

7. Gridnevskii AV. Complex Assessment of Geological Hazards of the Territories of Rostov Region. *Engineering Journal of Don*. 2013(3(26)). (In Russ.). URL: http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1946 (accessed: 22.07.2023).

8. Konovalov PA, Konovalov VP. *Soil Bases and Foundations of Buildings under Reconstruction*: Monograph. Moscow: Assotsiatsiya Stroitel'nykh Vuzov Publ.; 2011. 384 p. (In Russ.).

9. Prokopova MV, Luk'yanova GV. *O Vozmozhnykh Izmeneniyakh Svoistv Gruntov pri Uvelichenii Urovnya Podzemnykh Vod.* In: “Stroitel'stvo-2011”: Proceedings of the Internatioanl Sience and Practical Conference. Rostov-on-Don: Rostov State Civil Engineering University Publ; 2011. P. 144–145. (In Russ.).

10. Semenenko AI, Timoshenko MS. The problem of assessment of the geological risk of urbanized territories. *Engineering Journal of Don*. 2013(4(27)). (In Russ.). URL: http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2204 (accessed: 04.07.2023).

11. Prokopov AYu, Prokopova MV, Zhur VN. *Issledovanie Svoistv Lessovykh Prosadochnykh Gruntov Vostochnogo Donbassa.* In: Transport, Science, Education, Production: Collected Papers. Vol.2. Technical Sciences. Rostov-on-Don: Rostov State Transport University Publ.; 2017. P. 354 – 358. (In Russ.).

Поступила в редакцию 05.08.2023
Поступила после рецензирования 25.08.2023
Принята к публикации 01.09.2023

Об авторах:

Жур Вячеслав Николаевич, доцент кафедры «Инженерная геология, основания и фундаменты» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, ScopusID, ORCID, gvn.07@mail.ru

Пасько Александр Романович, магистрант кафедры «Инженерная геология, основания и фундаменты» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), ORCID, pasko.p77@mail.ru

Заявленный вклад соавторов:

В.Н. Жур — формирование основной концепции, анализ нормативных методик в области проектирования оснований и фундаментов, формулировка выводов.

А.Р. Пасько — выполнение численных расчетов, обработка массива данных, оформление графических материалов для статьи.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Received 05.08.2023
Revised 25.08.2023
Accepted 01.09.2023

About the Authors:

Vyacheslav N. Zhur, Cand.Sci.(Engineering)**,** Associate Professor of the Engineering Geology, Subfoundations and Foundations Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), ScopusID, ORCID, gvn.07@mail.ru

Aleksandr R. Pasko, Master Student of the Engineering Geology, Subfoundations and Foundations Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), ORCID, pasko.p77@mail.ru

Claimed contributorship:

VN Zhur — formulating the main concept, analysis of normative methodologies in the field of subfoundations and foundations designing, formulating the conclusions.

AR Pasko — making numerical calculations, data set processing, graphic design of article materials.

Conflict of interest statement: the authors do not have any conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.





УДК 69.004

https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-3-104-111

Научная статья



Аналитический обзор программного обеспечения для создания информационной модели города

С.Г. Шеина , **И.Б. Осовик**

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

osovik.ivan@yandex.ru

Аннотация

Введение. Статья посвящена перспективной технологии в строительной индустрии и городском управлении — CIM (City Information Modeling — информационная модель города). С возникновением информационной модели сложилась способность создавать 3D-модели не только отдельных объектов, но и города в целом с его застройкой, инфраструктурой, геологическими и экологическими факторами. Но для создания и поддержания моделей городов нужны программные средства. Целью исследования является обзор имеющихся программных продуктов, описание их свойств, области применения. Обозначены возможности использования CIM. Описаны задачи, которые данная модель позволяет решить. Показан результат использования ГИС-технологий в создании информационной модели города с данными по классу энергоэффективности жилищного фонда.

Материалы и методы. В процессе проведения исследования выполнен аналитический обзор программного обеспечения в целях создания информационной модели города, а также изучены труды ученых в сфере городского моделирования. Отмечены источники информации, которые могут использоваться для дальнейшей работы. В процессе создания цифровой модели города использованы геоинформационные системы ARC GIS 10.1 ESRI.

Результаты исследования. Информационная модель города может быть описана в виде воспроизведения ее исторических и культурных, социально-экономических и религиозных событий и явлений; объемных моделей, геоинформационных виртуальных систем, составленных на основе космических и информационных технологий, среди которых BIM (Building Information Modeling) и ГИС (геоинформационные системы). Для создания информационных моделей территорий города используются комплексы программ, функционал которых основан на анализе действующих данных и создании проектных сущностей. Основные импортеры программного обеспечения для городского моделирования — компании Autodesk и Bentley — имеют инструменты как для BIM, так и для CIM.

Обсуждение и заключение. Термин «Умный город» стал особо популярным с развитием BIM-технологий. Это инновационный подход с применением цифровых технологий, который напрямую влияет на деятельность и эффективность оказания услуг и повышение уровня жизни в городе. Для решения тематических задач существуют узконаправленные технологии и инструменты, связанные с развитием современной городской среды. Основная задача «Умного города» — это повышение уровня комфорта жизни жителей. Решается эта задача путем создания информационной модели города, содержащей информацию о рельефе, зданиях и сооружениях, дорогах, зеленых насаждениях и др.

Ключевые слова: CIM (City Information Modeling), ГИС (геоинформационные системы), городское моделирование, информационная модель, умный город

Благодарности. Авторы благодарят анонимных рецензентов, а также выражают признательность руководству за помощь, оказанную в процессе подготовки проекта.

Для цитирования. Шеина С.Г., Осовик И.Б. Аналитический обзор программного обеспечения для создания информационной модели города. *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий*. 2023;2(3):104–111. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-3-104-111

Original article

Analytical Review of the Software for Creating a City Information Model

Svetlana G. Sheina , **Ivan B. Osovik** ✉

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

✉ osovik.ivan@yandex.ru

Abstract

Introduction. The article describes a forward-looking technology in the field of construction industry and urban management – CIM (City Information Modeling) – an information model of a city. Emergence of the information modelling have led to the possibility to create the 3D models not only of individual objects, but also of a city as a whole with its buildings, infrastructure, geological and environmental factors. But creation and maintenance of the city models require the software tools. The aim of the present research is to make a review of the available software, describe its properties and field of application. CIM application capacities are also defined. The tasks, which can be solved by means of such a model, are described. The result of using GIS technologies in creating a city information model with respect to the data on housing stock energy efficiency level is shown.

Materials and Methods. Within the research, an analytical review of the existing software for creating an information model of a city was carried out, the works of the scientists, who contributed to the issue of urban modeling, were studied. The information sources useful for further research were identified. Geo-information systems ARC GIS 10.1 ESRI were used to create a city information model.

Results. A city information model can be described as a replication of the historical and cultural, socio-economic and religious events and phenomena; the three-dimensional models, geo-information virtual systems created by means of the space-based processing and information technologies, including BIM (Building Information Modeling) and GIS (Geographic Information Systems). The software complexes, which function based on the analysis of the valid data and creation of design entities, are used to create the information models of the urban territories. The major companies importing the urban modeling software, Autodesk and Bentley, offer both BIM and CIM tools.

Discussion and Conclusions. The term "Smart City" has become especially popular due to development of BIM technologies. This is an innovative approach based on the digital technologies application, which directly affects the activities and efficiency of provided services and rising the city living standard. For solving the thematic problems, there exist the focused technologies and tools of the modern urban environment development. The main task of the "Smart City" is enhancement of the comfort standard of the residents' living. This task is solved by creating a city information model integrating the information about the terrain, buildings and structures, roads, green spaces, etc.

Keywords: CIM (City Information Modeling), GIS (Geographic Information Systems), urban modeling, information model, smart city

Acknowledgements. The authors thank the anonymous reviewers and also express their gratitude to the management for the assistance provided during the preparation of the project.

For citation. SG Sheina, IB Osovik. Analytical Review of the Software for Creating a City Information Model. *Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning*. 2023;2(3):104–111. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-3-104-111

Введение. На основе использования данных, заложенных в информационной модели города, можно обеспечить высокий уровень жизни, что будет характерным для современных реалий, снизить затраты и повысить эффективность использования ресурсов за счет интеграции в модель информационных систем и служб города. Подход и спектр реализации такого проекта зависит от особенностей города и приоритетов поставленных задач [1].

Для создания и поддержания моделей крупных городов, таких как Москва и Санкт-Петербург, не нужны масштабные сервера. Достаточно одного персонального компьютера, чтобы вместить всю цифровую информацию города во всем ее объеме. Благодаря чему все это доступно не только градостроительным проектировщикам, но и обычным жителям города в приложениях для персональных компьютеров.

Таким образом, выбранная тема актуальна, поскольку информационная модель города — это развивающийся подход в отрасли строительства и управления городским хозяйством, требующий изучения, при использовании которого достигаются различные эффекты в разных сферах деятельности.

Это подтверждается обширным рядом публикаций и книжными изданиями по тематике работы и по смежным тематикам исследований.

Цель исследования — аналитический обзор программного обеспечения для создания информационной модели города и использование ГИС-технологий для создания CIM города Ростова-на-Дону.

Материалы и методы. С целью раскрытия темы проведен аналитический обзор существующего программного обеспечения для создания информационной модели города[1,2] [2], изучены труды ученых, осуществляющих разработки в сфере городского моделирования [3–6], определены источники информации, которые могут использоваться для дальнейшей работы. Для построения CIM города Ростова-на-Дону использована геоинформационная система ARC GIS 10.1 ESRI.

Результаты исследования. В основу информационной модели города заложены данные об исторических и культурных, социально-экономических и религиозных событиях и явлениях в виде электронной карты города и отдельных ее слоев (навигационная карта, кадастровая карта, карта рельефа и т. п.), объемных моделей, геоинформационных виртуальных систем, составленных на основе данных дистанционного зондирования земли, а также информационных моделей зданий и сооружений BIM (Building Information Model) [7].

Модель позволяет решить такие задачи, как:

– анализ территории;

– движение транспорта и пешеходная активность;

– выбор площадки для размещения проектируемых объектов;

– согласование и утверждение оптимального проектного решения (функция умного города);

– визуализация моделей зданий;

– определение влияния климата, экология;

– инженерно-геологические и экологические условия территории;

– способность интеграции в процесс работы над объектом на протяжении всего жизненного цикла (функция умного города).

Также информационное моделирование города позволяет обосновать градостроительные решения для высокоэффективного землепользования и формирования практичной планировки города.

Кроме пространственного представления города, демонстрирующего все особенности ландшафта, застройку, расположение зданий и дорог, модель имеет возможность имитировать и моделировать социально-экономические факторы, уровень здравоохранения, степень развития благоустройства и т. п. Эффект от таких моделей — анализ различных сценариев развития города [8]. Когда речь идет о создании информационной модели города, самая главная проблема — сбор исходных данных.

На стадии создания модели в первую очередь специалисты берут данные из:

– электронных карт;

– карт на бумажном носителе;

– аэро- и космических снимков;

– данных ГИС;

– баз данных различных организаций;

– чертежей;

– 3D-моделей зданий и сооружений.

В случае отсутствия информации специалисты прибегают к помощи интернета, где можно найти достаточное количество структурированной пространственной информации по практически любой необходимой территории Земли.

Воссоздано множество моделей различных видов, обладающих собственным набором свойств и подсистем. В таблице 1 рассмотрим, посредством каких программных комплексов строятся информационные модели города [2, 9].

В целях создания информационных моделей территорий города используются комплексы программ, обеспечивающих городское моделирование умного города — компании Autodesk и Bentley, имеющие как инструменты для BIM, так и для CIM (City Information Modeling).

Самым высоким спросом в нашей стране среди программного обеспечения для моделирования территорий пользуются продукты компаний Autodesk и ESRI (ГИС). Завоевала свою нишу InfraWorks, активно применяется AutoCAD Civil 3D, Revit. Решения от Bentley Systems массовой популярности не нашли, а стоимость ПО выше по сравнению с аналогичными продуктами Autodesk. Но это не мешает специалистам использовать разработки данной компании для создания информационной модели города.

[1] Левин Д. *Оцифровка купеческих построек — CIM (City Information Modelling) для создания проекта реконструкции Ильинской Слободы.* Isicad: [сайт]. 2023. URL: https://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=21777 (дата обращения: 31.06.2023).

[2] Беляев Д.М. *Информационная модель города.* Справочник от автора: [сайт]. 2023. URL: https://spravochnick.ru/informatika/informacionnaya_model/informacionnaya_model_goroda/ (дата обращения: 31.06.2023).

Таблица 1

Варианты программных комплексов, используемых для построения информационной модели города

Название программы	Функционал
AnyLogic	• Программное обеспечение для имитационного моделирования, разработанное российской компанией The AnyLogic Company. • В процессе работы в модели формируются такие показатели социально-экономического развития территории, как качество жизни населения, доходы бюджета, прирост занятости на реорганизуемых территориях, численность населения, коэффициент доступности жилья, уровень безработицы, уровень загрязнения окружающей среды и др. Программа AnyLogic, в которой была построена модель, позволяет создавать интерактивную анимацию, что помогает визуальному представлению рассматриваемых ситуаций. • Модельный комплекс обеспечивает визуализацию процесса преобразования территории, позволяет загружать карту, которою можно разделять на районы, предназначенные для различных целей. Например, существуют такие районы, как промышленная и лесопарковая зоны, а также жилищный и общественный комплексы. Данная модель позволяет проигрывать всевозможные сценарии пространственного развития города, в частности имитировать процесс создания и ликвидации городских объектов.
ArcGIS	• Комплекс геоинформационных программных продуктов американской компании ESRI. Применяются для земельных кадастров, в задачах землеустройства, учёта объектов недвижимости, систем инженерных коммуникаций, геодезии и недропользования и других областях. • 3D ГИС переносят карты и данные в контекст реального мира, делая их нагляднее. Позволяют преобразовать данные в 3D-модели и анализировать их помощи инструментов или визуально.
LumenRT	• Программная среда от Bentley Systems, представляющая инженерные проекты в объемном 3D-пространстве в режиме реального времени. • Анимированные модели инфраструктуры с движущимися элементами, такими как моделируемый дорожный трафик с использованием транспортных средств всех типов, людей, растений, деревьев, облаков, воды и многого другого. • Моделирование ландшафта и грунтовых покрытий, отображение водоемов, фотореалистичного неба и погодных явлений в дневное или ночное время. • Легкое создание 3D-видео презентаций инфраструктурных объектов.
Civil 3D	• AutoCAD Civil 3D — программа, базирующаяся на платформе AutoCAD и предназначенная для землеустроителей, проектировщиков генплана, проектировщиков линейных сооружений. • В Civil 3D использованы инструменты, которые основаны на технологии BIM. Программный комплекс позволяет в процессе проектирования объектов инфраструктуры значительно сократить сроки работы над проектом, быстро выполнить необходимые расчеты и внести определенные изменения. • Программный комплекс позволяет использовать целый ряд инструментов для формирования земельных участков с картографическими сведениями в автоматическом режиме. Используя Bridge Module, можно проектировать мосты и компоненты мостовых конструкций. • В составе Autodesk Civil 3D имеется инструментальная геоинформационная система Autodesk Map, которая позволит на основе уже существующих проектных данных решать задачи эксплуатации объектов, мониторинга, анализа и моделирования ситуации.
GeoniCS	• Отечественная разработка GeoniCS работает как с AutoCAD так и с российским программным комплексом NanoCAD. • Программный комплекс GeoniCS — это интегрированное решение, представляющее собой технологическую линию совместимых профессиональных программных продуктов, обеспечивающих комплексность при реализации сквозных, «бесшовных» технологий проектирования. • Предназначен для обработки данных геодезических и инженерно-геологических изысканий, создания цифровой модели местности (ситуации, рельефа, инженерно-геологического строения, существующих сетей), создания топопланов в отечественных условных знаках, проектирования генеральных планов и вертикальной планировки, внешних инженерных сетей и линейно-протяженных объектов. • Отличительная особенность GeoniCS в сравнении с зарубежными аналогами — ориентация на отечественные стандарты и технологию. • Данная программа имеет иную структуру данных, в отличие других подобных программ. В «Нанософт» пошли путем наполнения функционала посредством разделения на различные модули (ТОПОПЛАН — ГЕНПЛАН — СЕТИ — ТРАССЫ — СЕЧЕНИЯ — ГЕОМОДЕЛЬ). Модули могут состоять из нескольких функциональных разделов, каждый из которых соответствует строго определенным задачам проектирования. • Модуль «ТОПОПЛАН» — это ядро программы, позволяющее создавать топографические планы, вести базу точек съемки проекта, строить трехмерную модель рельефа и проводить анализ полученной поверхности. На основе построенной модели рельефа программа может решать целый ряд прикладных задач. • Модуль «ГЕНПЛАН» используется при проектировании промышленных объектов различного назначения, а также объектов гражданского строительства. Он обеспечивает полное соответствие требованиям ГОСТ 21.50893 «Правила выполнения рабочей документации генеральных планов предприятий, сооружений и жилищно-гражданских объектов».

Название программы	Функционал
GeoniCS	• Модуль «СЕТИ» позволяет проектировать внешние инженерные сети и оформлять необходимые выходные документы. • Модуль «ТРАССЫ» обеспечивает проектирование линейно-протяженных объектов и оформление необходимых выходных параметров. • Модуль «СЕЧЕНИЯ» позволяет получить поперечные профили по цифровой моели рельефа и осевой линии трассы, созданных в модулях «ТОПОПЛАН» и «ТРАССЫ», а также запроектировать очертания дорог и водоотводных устройств с формированием объемов земляных работ и материалов. • Модуль «ГЕОМОДЕЛЬ» предназначен для автоматизации процесса подготовки графических отчетных документов инженерно-геологических изысканий (инженерно-геологические разрезы и колонки).
Revit	• Программный комплекс от компании Autodesk для автоматизированного проектирования, реализующий принцип информационного моделирования зданий. • Autodesk Revit — это платформа параметрического моделирования, способная автоматически координировать изменения. В процессе создания модели некоторые зависимости между элементами задаются автоматически, а некоторые — самим пользователем. При последующих изменениях зависимости между элементами сохраняются. При изменении одного элемента программа сама определяет связанные с ним элементы и способ их обновления. • Корректная передача модели генерального плана в среду Revit для дальнейшей проработки формализации объектов в процессе проектирования. Возможность детальной прорисовки каждого отдельного объекта с его техническими свойствами (сведениями и о структуре используемых материалов, и о их плотности, теплопроводности и прочих физических свойствах). • Autodesk Revit создана как полноценная система автоматизированного проектирования (САПР), которая позволяет заниматься архитектурным проектированием, проектировать инженерные системы и строительные конструкции.
Autodesk InfraWorks	• Autodesk InfraWorks — это мощный инструмент для эскизного проектирования и визуализации проектов таких инфраструктурных объектов, как дороги, мосты, инженерные коммуникации, участки застройки и т. д. InfraWorks позволяет быстро создать 3D-модель существующей инфраструктуры на основе данных из открытых источников или на основе инженерно-геодезических изысканий. • Следует отметить, что модель, созданная в InfraWorks, будет не просто красивой картинкой, а информационной моделью, содержащей данные о существующих и проектных объектах инфраструктуры и атрибутивную информацию. Это рельеф со всеми объектами, которые на нем находятся. • Автоматизация проектирования объектов инфраструктуры, создание и выпуск рабочей документации, начиная со сбора и обработки полевых данных, геодезических изысканий и заканчивая 3D-визуализацией проектного замысла и возведением самих объектов.

На данный момент на российский рынок программного обеспечения компания Autodesk прекратила поставлять лицензию на свою продукцию. Эту нишу заполняют отечественные разработки, упрощающие процесс перехода от западного обеспечения, с качественной реализацией проекта. Программный комплекс Model Studio CS реализует концепцию организации среды общих данных и автоматизирует проектирование промышленных и производственных объектов любой сложности. GeoniCS работает как с AutoCAD, так и с российским программным комплексом NanoCAD.

Примером создания информационной модели города является разработанная на кафедре «Городское строительство и хозяйство» ДГТУ информационная модель г. Ростова-на-Дону (рис. 1), построенная в ПО ARC GIS 10.1 ESRI. Электронная карта города совмещена с космическим снимком. На полученном рельефе местности показан жилой фонд города. Предварительно была создана база данных жилищного фонда города с разбивкой по году постройки, материалу стен, этажности. На основе результатов энергообследования объектов-аналогов определены классы энергоэффективности каждого жилого здания, и данные внесены в базу данных ГИС. Благодаря инструментарию, заложенному в ARC GIS, данные по классу энергоэффективности совмещены с электронной картой рельефа местности. Каждый объект окрашен в соответствии с классом его энергоэффективности.

Обсуждение и заключение. Использование современных программных продуктов позволяет создать информационную (цифровую) модель территории города.

На основе цифровой модели города разрабатываются модули по реализации целевых программ развития муниципальных образований для формирования комфортной среды обитания. В частности, модель существующих транспортных потоков с обозначением статистических данных по трафику загруженности транспортных средств на улицах города, на которую затем выводятся предложения вариантов для их оптимизации [10].

Для реализации программ по повышению энергоэффективности в жилищном фонде в ПО ARC GIS ESRI 10.1 выполнен пространственный анализ городских территорий, который позволяет произвести оценку территорий по ее энергоэффективности и разработать мероприятия по повышению этого показателя в процессе проведения энергетической санации жилищного фонда.



Рис. 1. Информационная модель г. Ростова-на-Дону, построенная в ПО ARC GIS 10.1 ESRI

Информационная модель позволяет:

– продемонстрировать все варианты проекта в максимально наглядном формате;

– прикрепить ссылки на варианты проектов на городском портале;

– организовать голосование и сбор замечаний по проектам от жителей города.

Таким образом, использование информационной модели на завершающей стадии проекта позволяет продемонстрировать лицам, принимающим решение, пространственную модель территории в завершенном виде. Качественная визуализация также необходима для проведения общественных слушаний по реализации программ развития города.

Список литературы

1. Измайлов А.Ф. Информационная модель города (о некоторых подходах к проблеме моделирования информационных отношений в городской среде). *Управленческое консультирование.* 2009;1:179–186.

2. Гафарова Е.А., Газизова К.А. Имитационные модели развития города: социально-экономический и управленческий аспекты. *Вопросы управления.* 2015;3(34):172–180. URL: https://journal-management.com/issue/2015/03/23 (дата обращения: 15.07.2023).

3. Psyllidis A., Bozzon A., Bocconi S., Titos Bolivar C. *A Platform for Urban Analytics and Semantic Data Integration in City Planning*. In: Computer-Aided Architectural Design Futures. The Next City — New Technologies and the Future of the Built Environment. CAAD Futures 2015. Communications in Computer and Information Science, vol 527. Celani G, Sperling, D, Franco J (eds). Berlin, Heidelberg: Springer; 2015. P. 21-36. https://doi.org/10.1007/978-3-662-47386-3_2

4. Митягин С.А., Соболевский С.Л., Дрожжин А.И., Воронин Д.Ю., Евстигнеев В.П., Садовникова Н.П. и др. Цифровая модель города: принципы и подходы к реализации. *International Journal of Open Information Technologies.* 2019;7(12):94–103. URL: http://injoit.org/index.php/j1/article/view/858 (дата обращения: 17.07.2023).

5. Видясова Л.А., Смирнова П.В. Исследование образа «умного города» глазами жителей Петербурга. *Информационные ресурсы России.* 2019(2):35–38.

6. Stojanovski T. *City Information Modelling (CIM) and Urban Design –Morphological Structure, Design Elements and Programming Classes in CIM*. In: Computing for a better tomorrow - Proceedings of the 36th eCAADe Conference. 19–21 September 2018. Volume 1. Kepczynska-Walczak, A, Bialkowski, S (eds.). Lodz, Poland: Lodz University of Technology; 2018. P. 507–516. https://doi.org/10.52842/conf.ecaade.2018.1.507

7. Stojanovski T. *City Information Modeling (CIM) And Urbanism : Blocks, Connections, Territories, People And Situations*. In: SimAUD '13 Proceedings of the Symposium on Simulation for Architecture and Urban Design. San Diego; 2013. P. 86–93. URL: https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:kth:diva-125971 (дата обращения: 17.07.2023).

8. Митусова Н.А., Голубничий А.А. Моделирование городских процессов (методы и объекты). *Современная техника и технологии.* 2016;8(60):3–6. URL: https://technology.snauka.ru/2016/08/10459 (дата обращения: 20.07.2023).

9. Якушев Н.М., Максимова Н.А. Информационное обеспечение градостроительной деятельности. *Фотинские чтения.* 2016(1):316–321.

10. Шеина С.Г., Стародубцева А.С. Устойчивое развитие городов. Комплексный подход к преобразованию городской среды. *Инженерный вестник Дона*. 2017(2). URL: http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4114 (дата обращения: 20.06.2023).

References

1. Izmailov AF. Informatsionnaya Model' Goroda (O Nekotorykh Podkhodakh k Probleme Modelirovaniya Informatsionnykh Otnoshenii v Gorodskoi Srede). *Administrative Consulting*. 2009;1:179–186. (In Russ.).

2. Gafarova EA, Gazizova KA. Simulation Models of Urban Development: Socio-Economic and Administrative Aspects. *Management Issues*. 2015;3(34):172–180. (In Russ.). URL: https://journal-management.com/issue/2015/03/23 (accessed: 15.07.2023).

3. Psyllidis A., Bozzon A., Bocconi S., Titos Bolivar C. *A Platform for Urban Analytics and Semantic Data Integration in City Planning*. In: Computer-Aided Architectural Design Futures. The Next City — New Technologies and the Future of the Built Environment. CAAD Futures 2015. Communications in Computer and Information Science, vol 527. Celani G, Sperling, D, Franco J (eds). Berlin, Heidelberg: Springer; 2015. P. 21-36. https://doi.org/10.1007/978-3-662-47386-3_2

4. Mityagin SA, Sobolevskii S.L, Drozhzhin AI, Voronin DY, Evstigneev VP, Sadovnikova NP, et al. City Digital Model: Principles And Approaches To Implementation. *International Journal of Open Information Technologies*. 2019;7(12):94–103. (In Russ.). URL: http://injoit.org/index.php/j1/article/view/858 (accessed: 17.07.2023).

5. Vidyasova LA, Smirnova PV. The Study of the "Smart City" Image through the Eyes of St. Petersburg Residents. *Informatsionnye Resursy Rossii*. 2019; (2):35–38. (In Russ.).

6. Stojanovski T. *City Information Modelling (CIM) and Urban Design –Morphological Structure, Design Elements and Programming Classes in CIM*. In: Computing for a better tomorrow - Proceedings of the 36th eCAADe Conference. 19–21 September 2018. Volume 1. Kepczynska-Walczak, A, Bialkowski, S (eds.). Lodz, Poland: Lodz University of Technology; 2018. P. 507–516. https://doi.org/10.52842/conf.ecaade.2018.1.507

7. Stojanovski T. City Information Modeling (CIM) And Urbanism : Blocks, Connections, Territories, People And Situations. In: *SimAUD '13 Proceedings of the Symposium on Simulation for Architecture and Urban Design*. San Diego; 2013. P. 86–93. URL: https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:kth:diva-125971 (accessed: 17.07.2023).

8. Mitusova NA, Golubnichii AA. Modelling of Urban Processes (Methods and Objects). *Modern Technics and Technologies*. 2016;8(60):3–6. (In Russ.). https://technology.snauka.ru/2016/08/10459 (accessed: 20.07.2023).

9. Yakushev NM, Maksimova NA. Informatsionnoe Obespechenie Gradostroitel'noi Deyatel'nosti. *Fotinskie Chteniya*. 2016;(1):316–321. (In Russ.).

10. Sheina SG, Starodubtseva AS. Ustoichivoe Razvitie Gorodov. Kompleksnyi Podkhod k Preobrazovaniyu Gorodskoi Sredy. *Engineering Journal of Don*. 2017(2). (In Russ.). URL: http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4114 (accessed: 20.06.2023).

Поступила в редакцию 30.06.2023
Поступила после рецензирования 16.07.2023
Принята к публикации 09.08.2023

Об авторах:

Шеина Светлана Георгиевна, заведующая кафедрой «Городское строительство и хозяйство» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), доктор технических наук, профессор, ScopusID, ORCID, rgsu-gsh@mail.ru

Осовик Иван Борисович, магистрант кафедры «Городское строительство и хозяйство» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), ORCID, osovik.ivan@yandex.ru

Заявленный вклад соавторов:

И.Б. Осовик — формирование основной концепции, цели и задачи исследования, подготовка текста, формирование выводов.

С.Г. Шеина — научное руководство, анализ результатов исследований, доработка текста, корректировка выводов.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Received 30.06.2023
Revised 16.07.2023
Accepted 09.08.2023

About the Authors:

Svetlana G. Sheina, Dr.Sci.(Engineering**),** Professor, Head of the Urban Construction and Utilities Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), ScopusID, ORCID, rgsu-gsh@mail.ru

Ivan B. Osovik, Master Student of the Urban Construction and Utilities Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), ORCID, osovik.ivan@yandex.ru

Claimed contributorship:

IB Osovik — formulating the main concept, aim and objectives of the research, preparing the text, drawing the conclusions.

SG Sheina — scientific supervision, research results analysis, refining the text, correcting the conclusions.

Conflict of interest statement: the authors do not have any conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.